

Collector for an illumination system with wavelength of 193 nm

Patent number: EP1225481
Publication date: 2002-07-24
Inventor: SINGER WOLFGANG DR (DE); WANGLER JOHANNES (DE)
Applicant: ZEISS CARL SEMICONDUCTOR MFG (DE)
Classification:
- international: G03F7/20; G21K1/06; G21K5/04
- european: G03F7/20T26, G03F7/20T16, G02B5/09, G02B17/06, G02B19/00, G03F7/20T14, G21K1/06, G21K5/04
Application number: EP20010128685 20011201
Priority number(s): DE20011002934 20010123; DE20011027298 20010606; DE20011038313 20010810

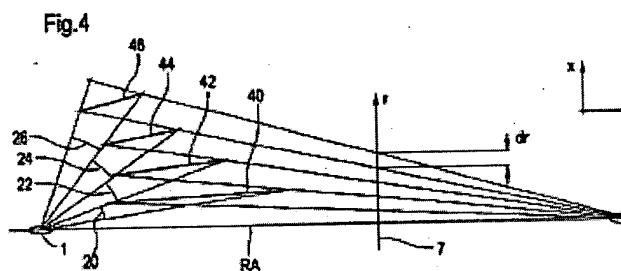
Also published as:

WO02065482 (A3)
WO02065482 (A2)
EP1354325 (A3)
EP1354325 (A2)
US2004065817 (A1)

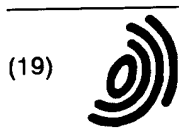
more >>

Abstract of EP1225481

The lighting of micro structures uses an optical collector that is rotationally symmetrical about an axis between the light source (1) and the target (5). The collector has a number of mirror shells (40,42,44,46) set around the axis and positioned such that there is no overlapping effect



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 1 225 481 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.07.2002 Patentblatt 2002/30

(51) Int Cl.7: G03F 7/20, G21K 1/06,
G21K 5/04

(21) Anmeldenummer: 01128685.3

(22) Anmeldetag: 01.12.2001

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• Singer, Wolfgang, Dr.
73431 Aalen (DE)
• Wangler, Johannes
85551 Königsbrunn (DE)

(30) Priorität: 23.01.2001 DE 10102934
06.06.2001 DE 10127298
10.08.2001 DE 10138313

(74) Vertreter: Dr. Weitzel & Partner
Friedenstrasse 10
89522 Heidenheim (DE)

(71) Anmelder: CARL ZEISS SEMICONDUCTOR
MANUFACTURING TECHNOLOGIES AG
73447 Oberkochen (DE)

(54) Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge 193 nm

(57) Die Erfindung betrifft einen Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge ≤ 193 nm, bevorzugt ≤ 126 nm, besonders bevorzugt EUV-Wellenlängen mit

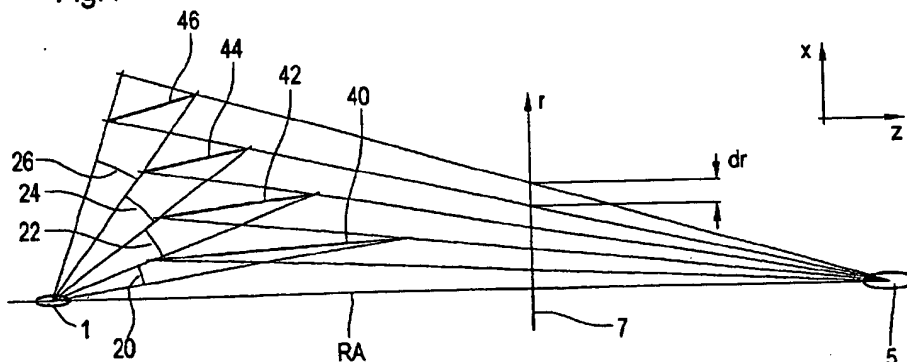
- einer objektseitigen Apertur, die von einer Lichtquelle abgestrahltes Licht aufnimmt,
- einer Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen, welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind, wobei jeder Spiegelschale ein Ringaperturelement der objektseitigen Apertur zugeordnet ist,
- einen auszuleuchtenden Bereich in einer Ebene, der aus Ringelementen besteht, wobei jedem Rin-

gelement ein Ringaperturelement zugeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Ringaperturelemente nicht überlappen
- die Ringelemente nicht überlappen und in der Ebene weitgehend kontinuierlich aneinander anschließen und
- die Ausdehnungen in Richtung der Rotationsachse, die Flächenparameter und die Positionen der Spiegelschalen derart gestaltet sind, daß die Bestrahlungsstärken der einzelnen Ringelemente in der Ebene weitgehend übereinstimmen.

Fig.4



EP 1 225 481 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge ≤ 193 nm, bevorzugt ≤ 126 nm, insbesondere bevorzugt Wellenlängen im EUV-Bereich mit einer objektseitigen Apertur, die von einer Lichtquelle abgestrahltes Licht aufnimmt, einer Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen, welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind, wobei jeder Spiegelschale ein Ringaperturelement der objektseitigen Apertur zugeordnet ist, einen auszuleuchtenden Bereich in einer Ebene, der aus Ringelementen besteht, wobei jedem Ringelement ein Ringaperturelement zugeordnet ist. Des weiteren stellt die Erfindung auch ein Beleuchtungssystem mit einem derartigen Kollektor, einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen Beleuchtungssystem sowie ein Verfahren zur Belichtung von Mikrostrukturen zur Verfügung.

[0002] Genestete Kollektoren für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere Wellenlängen im Bereich der Röntgenstrahlen sind aus einer Vielzahl von Schriften bekanntgeworden.

[0003] So zeigt die US 5,768,339 einen Kollimator für Röntgenstrahlen, wobei der Kollimator mehrere genestete paraboloidförmige Reflektoren aufweist. Der Kollimator gemäß der US 5,768,339 dient dazu, ein isotrop abgestrahltes Strahlbündel einer Röntgen-Lichtquelle in einen parallelen Strahl zu formen.

[0004] Aus der US-A-1865441 ist ein genesteter Kollektor für Röntgenstrahlen bekanntgeworden, der wie im Falle der US 5,768,339 dazu dient, von einer Quelle abgegebene isotrope Röntgenstrahlen zu einem parallelen Strahlbündel zu kollimieren.

[0005] Die US 5,763,930 zeigt einen genesteten Kollektor für eine Pinch-Plasma-Lichtquelle, der dazu dient, die von der Lichtquelle abgegebene Strahlung zu sammeln und in einen Lichtleiter zu bündeln.

[0006] Die US 5,745,547 zeigt mehrere Anordnungen von Multikanaloptiken, die dazu dienen, durch Mehrfachreflexionen die Strahlung einer Quelle, insbesondere Röntgenstrahlung, in einem Punkt zu bündeln.

[0007] Um eine besonders hohe Transmissionseffizienz zu erreichen, schlägt die Erfindung gemäß der US 5,745,547 elliptisch geformte Reflektoren vor.

[0008] Aus der DE 30 01 059 C2 ist für die Verwendung in Röntgenstrahlen-Lithographiesystemen eine Anordnung bekanntgeworden, die parabolische zwischen Röntgenstrahlquelle und Maske angeordnete genestete Spiegel aufweist. Diese Spiegel sind so angeordnet, daß die divergierenden Röntgenstrahlen zu einem parallel verlaufenden Ausgangsstrahlbündel geformt werden.

[0009] Die Anordnung gemäß der DE 30 01 059 dient wiederum lediglich dazu, für die Röntgenstrahl-Lithographie eine gute Kollimation zu erreichen.

[0010] Die aus der WO 99/27542 bekanntgewordene Anordnung von genesteten Reflektoren dient bei einem Röntgenstrahl-Proximity-Lithographie-System dazu, daß Licht einer Lichtquelle zu refokussieren, so daß eine virtuelle Lichtquelle ausgebildet wird. Die genesteten Schalen können Ellipsoidform aufweisen.

[0011] Aus der US 6,064,072 ist ein genesteter Reflektor für hochenergetische Photonenquellen bekanntgeworden, der dazu dient, die divergierenden Röntgenstrahlen zu einem parallel verlaufenden Strahlbündel zu formen.

[0012] Die WO 00/63922 zeigt einen genesteten Kollektor, der dazu dient, den Neutronenstrahl zu kollimieren.

[0013] Aus der WO 01/08162 ist ein genesteter Kollektor für Röntgenstrahlen bekanntgeworden, der sich durch eine Oberflächenrauigkeit der inneren, reflektierenden Fläche, der einzelnen Spiegelschalen von weniger als 12 Å rms auszeichnet. Die in der WO 01/08162 gezeigten Kollektoren umfassen auch Systeme mit Mehrfachreflexionen, insbesondere auch Woltersysteme, und zeichnen sich durch eine hohe Auflösung, wie sie beispielsweise für die Röntgenlithographie gefordert wird, aus.

[0014] Für Beleuchtungsoptiken für die EUV-Lithographie, wie beispielsweise in der DE 199 03 807 oder der WO 99/57732, werden außer an die Auflösung auch hohe Anforderungen an die Gleichmäßigkeit bzw. Uniformität und Telezentrie gestellt. Bei derartigen Systemen wird für bestimmte Lichtquellen das Licht der Lichtquelle durch einen Kollektor gesammelt.

[0015] Aufgabe der Erfindung ist es, einen Kollektor für ein Beleuchtungssystem für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 193 nm, vorzugsweise < 126 nm, besonders bevorzugt für Wellenlängen im EUV-Bereich anzugeben, der den hohen Anforderungen an die Uniformität und Telezentrie, die für Beleuchtungsoptiken erforderlich sind, gerecht werden. Insbesondere soll eine möglichst homogene Ausleuchtung erreicht werden.

[0016] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch einen Kollektor mit einer objektseitigen Apertur, die von einer Lichtquelle abgestrahltes Licht aufnimmt sowie die Merkmale des Anspruchs 1 umfaßt, gelöst. Der erfindungsgemäße Kollektor umfaßt eine Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen, welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind. Jeder Spiegelschale ist ein Ringaperturelement der objektseitigen Apertur zugeordnet. Der auszuleuchtende Bereich liegt in einer Ebene und besteht aus Ringelementen, wobei jedem Ringelement ein Ringaperturelement zugeordnet ist. Die Ringaperturelemente und die zugeordneten Ringelemente überlappen nicht und die Ringelemente schließen in der Ebene weitgehend kontinuierlich aneinander. Erfindungsgemäß sind die Ausdehnungen der Spiegelschalen in Richtung der Rotationsachse sowie die Flächenparameter und die Positionen der Spiegelschalen derart gewählt, daß die Bestrahlungsstärken der einzelnen Ringelemente weitgehend übereinstimmen.

men.

[0017] Die Erfinder haben erkannt, daß durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung eines genesteten Kollektor in einem Bereich einer Ebene eine weitgehend gleichmäßige Ausleuchtung erreicht werden kann. Besonders bevorzugt ist es, wenn die Spiegelschalen ein ringförmiges Segment eines Ellipsoids, eines Paraboloids oder eines Hyperboloids sind. Für ein Paraboloid ergibt sich ein vollständig paralleles Strahlenbündel und somit eine im Unendlichen liegende Lichtquelle. Will man beispielsweise mit Hilfe eines in der auszuleuchtenden Ebene angeordneten ersten optischen Elementes mit ersten Rasterelementen gemäß dem US-Patent 6 198 793 B1, dessen Offenbarungsgehalt vollständig in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird, sekundäre Lichtquellen erzeugen, so müssen bei Spiegelschalen, die als ringförmiges Segment eines Paraboloids ausgebildet sind, die einzelnen Rasterelemente eine sammelnde Wirkung aufweisen.

[0018] Die sammelnde Wirkung kann auch auf den Kollektor übertragen werden. Ein derartiger erfindungsgemäßer Kollektor würde Schalen, die Ausschnitte von Ellipsoiden sind, umfassen, so daß ein konvergentes Strahlbündel ausgebildet wird. Durch die Übertragung der sammelnden Wirkung auf einen Kollektor, der Schalen, die Ausschnitte von Ellipsoiden sind, umfaßt, können die ersten Rasterelemente des ersten optischen Elementes beispielsweise als Planfacetten ausgebildet werden.

[0019] Kollektoren mit Schalen, die Ausschnitte von Hyperboloiden sind, führen zu einem divergierenden Strahlbündel und sind insbesondere dann von Interesse, wenn der Kollektor möglichst klein dimensioniert werden soll.

[0020] Im Gegensatz zu den genesteten Kollektoren gemäß dem Stand der Technik zeichnet sich der erfindungsgemäße Kollektor dadurch aus, daß die Ausdehnungen der Reflektoren der unterschiedlichen Schalen in Richtung der Rotationsachse verschieden sind. So kann eine weitgehend homogene Ausleuchtung in einen ringförmigen Bereich in der auszuleuchtenden Ebene realisiert werden. Sind die Abmessungen und Abstände der Reflektoren wie bei dem im einleitenden Teil zitierten Stand der Technik im wesentlichen gleich, so kann zwar beispielsweise ein kollimierter Strahl bzw. ein fokussierter Strahl erreicht werden, eine homogene Ausleuchtung in einem ringförmigen Bereich hingegen nicht. Darüberhinaus können die winkelabhängigen Reflexionsverluste durch geeignete Auslegung des Kollektors kompensiert werden, so daß eine homogene Ausleuchtung in der Ebene erfolgt.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Kollektors ist die Position einer äußeren Spiegelschale von der auszuleuchtenden Ebene weiter entfernt als die Position einer inneren Spiegelschale. Als Position einer Spiegelschale wird dabei der Mittelwert aus Anfangs- und Endpunkt einer Schale bezogen auf die Rotationsachse des Kollektors verstanden. Unter innerer Spiegelschale versteht man die Spiegelschale, die von den beiden Spiegelschalen, der inneren und äußeren Spiegelschale, den geringeren Abstand zur Rotationsachse aufweist. Da die Homogenisierung auch mit den genesteten Kollektoren lediglich in einer diskreten Näherung erreicht wird, ist es von Vorteil, wenn der Kollektor so viele Schalen als möglich umfaßt. Bevorzugt weist der erfindungsgemäße Kollektor mehr als vier, besonders bevorzugt mehr als sieben und insbesondere bevorzugt mehr als zehn Reflektoren in einer schalenförmigen Anordnung auf.

[0022] Bei einer isotrop abstrahlenden Lichtquelle gewährleistet der erfindungsgemäße Kollektor, daß gleiche Winkelsegmente auf gleiche Flächen abgebildet werden. Darüber hinaus können die winkelabhängigen Reflexionsverluste durch geeignete Auslegung des Kollektors kompensiert werden, so daß eine homogene Ausleuchtung in der auszuleuchtenden Ebene vorliegt.

[0023] Liegt eine nicht-isotrope Quelle vor, so kann die Abstrahlcharakteristik durch den Kollektor in eine homogene Ausleuchtung umgewandelt werden.

[0024] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die radiale Ausdehnung von mindestens zwei Ringelementen gleich groß und die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse der dem inneren Ringelement zugeordneten Spiegelschale des Kollektors größer als die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse der dem äußeren Ringelement zugeordneten Spiegelschale des Kollektors. Unter innerem Ringelement versteht man das Ringelement, das von den beiden Ringelementen, dem inneren und dem äußerem Ringelement, den geringeren Abstand zur Rotationsachse aufweist.

[0025] Vorteilhafterweise ist der erfindungsgemäße Kollektor derart gestaltet, daß der Quotient aus einem ersten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines ersten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringapertur-elementes und einem zweiten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines zweiten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringapertur-elementes gleich groß ist zu dem Quotienten aus einer ersten Strahlstärke, die in das erste Ringapertur-element fließt, und aus einer zweiten Strahlstärke, die in das zweite Ringapertur-element fließt, d.h. es gilt die Gleichung:

$$\frac{dA_1}{d\Omega_1} + \frac{dA_2}{d\Omega_2} = I(\alpha_1) + I(\alpha_2)$$

[0026] In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, die genesteten Spiegelschalen so auszubilden, daß an einer Spiegelschale Mehrfachreflexionen auftreten.

[0027] Durch Mehrfachreflexionen an einer Schale können die Reflexionswinkel klein gehalten werden.

[0028] Die Reflektivität verhält sich bei Reflexion unter streifendem Einfall mit kleinen Einfallswinkeln von weniger als 20° relativ zur Oberflächentangente bei Materialien wie Molybdän, Niob, Ruthenium, Rhodium, Palladium oder Gold nahezu linear mit dem Einfallswinkel relativ zur Oberflächentangente, so daß die Reflexionsverluste für eine Reflexion unter beispielsweise 16° oder zwei Reflexionen unter 8° annähernd dieselben sind. Für die maximal erreichbare Apertur des Kollektors ist es jedoch vorteilhaft, mehr als eine Reflexion zu verwenden.

[0029] Besonders bevorzugt sind Systeme mit zwei Reflexionen. Kollektoren mit zwei Reflexionen können beispielsweise als genestete Woltersysteme mit ersten Spiegelschalen, die ringförmige Ausschnitte von Hyperboloiden sind, und zweiten Spiegelschalen, die ringförmige Ausschnitte von Ellipsoiden sind, ausgebildet sein.

[0030] Woltersysteme sind aus der Literatur, beispielsweise aus Wolter, Annalen der Physik 10, 94 - 114, 1952, bekannt. Betreffend Woltersysteme mit einer reellen Schnittweite, d.h. einem reellen Zwischenbild der Quelle, die durch die Kombination einer Hyperboloidfläche mit einer Ellipsoidfläche gebildet wird, wird auf J. Optics, Vol. 15, 270 - 280, 1984 verwiesen.

[0031] Ein besonderer Vorteil von Woltersystemen ist, daß bei einem Woltersystem mit zwei Reflexionen mit Einfallswinkeln kleiner 20° relativ zur Oberflächentangente eine maximale Kollektionsapertur von bis zu $NA_{\max} \sim 0.985$ entsprechend einem Aperturwinkel von 80° gewählt werden kann, wobei man sich immer noch im hochreflektierenden Bereich der Reflexion unter streifendem Einfall mit einer Reflektivität $> 70\%$ befindet.

[0032] In einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß das erste ringförmige Segment und das zweite ringförmige Segment einer Schale nicht kontinuierlich aneinander anschließen, sondern zwischen erstem und zweitem ringförmigen Segment ein nicht genutzter Bereich der Spiegelschale, eine sogenannte Lücke liegt.

[0033] Neben dem Kollektor stellt die Erfindung auch ein Beleuchtungssystem mit einem derartigen Kollektor zur Verfügung. Das Beleuchtungssystem ist bevorzugt ein doppelt facettiertes Beleuchtungssystem mit einem ersten optischen Element mit ersten Rasterelementen und einem zweiten optischen Element mit zweiten Rasterelementen, wie in der US 6,198,793 B1 gezeigt, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die Anmeldung mit aufgenommen wird.

[0034] Die ersten und/oder zweiten Rasterelemente können Planfacetten oder Facetten mit sammelnder bzw. zerstreuer Wirkung sein.

[0035] In einer Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß auf dem ersten optischen Element mit ersten Rasterelementen nur ein ringförmiger Bereich ausgeleuchtet wird. Die ersten Rasterelemente sind dann bevorzugt innerhalb des ringförmigen Bereiches angeordnet.

[0036] Das Beleuchtungssystem umfassend den erfindungsgemäßen Kollektor findet bevorzugt in einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie Verwendung, wobei eine derartige Projektionsbelichtungsanlage in der PCT/EP 00/07258 gezeigt ist, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird. Projektionsbelichtungsanlagen umfassen ein der Beleuchtungseinrichtung nachgeordnetes Projektionsobjektiv, beispielsweise ein 4-Spiegel-Projektionsobjektiv wie in der US 6,244,717 B1 dargestellt, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird.

[0037] Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden.

[0038] Es zeigen:

- Figur 1 eine Prinzipskizze eines Kollektors
- Figur 2 Skizze der Ringaperturelementes um eine Lichtquelle
- Figur 3 Skizze der Ringelemente in einer Ebene
- Figur 4 genesteter Kollektor aus Ellipsoidsegmenten
- Figur 5 genesteter Kollektor aus Ellipsoidsegmenten mit unterschiedlicher Schalenzahl wie in Figur 4
- Figur 6 refraktiver genesteter Kollektor
- Figur 7 i-tes Ellipsensegment eines genesteten Kollektors
- Figur 8 Ellipsenschar eines genesteten Kollektors gemäß Ausführungsbeispiel in Tabelle 1
- Figur 9 Abbildungsmaßstab β des Ausführungsbeispiels gemäß Tabelle 1 in Abhängigkeit vom bildseitigen Aperturwinkel
- Figur 10 Abbildungsmaßstab β des Ausführungsbeispiels gemäß Tabelle 1 in Abhängigkeit vom Radius r in der Ebene 7 in x-Richtung
- Figur 11 Projektionsbelichtungsanlage mit einem genesteten Kollektor gemäß der Erfindung
- Figur 12 Ausleuchtungsverteilung (Bestrahlungsstärke) der Ringelemente in der Ebene der ersten Rasterelemente der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 11 in Abhängigkeit vom radialen Abstand zur Rotationsachse z des Systems.
- Figur 13 Projektionsbelichtungsanlage mit Zwischenbild mit einem genesteten Kollektor
- Figur 14 Abbildungsmaßstab β eines 8-schaligen genesteten Woltersystems gemäß Figur 17
- Figur 15 auszugsweise Darstellung von drei Schalen aus einem genesteten Woltersystem
- Figur 16 auszugsweise Darstellung von zwei Schalen aus einem genesteten Woltersystem

- Figur 17 8-schaliges genestetes Wolterssystem
 Figur 18 Skizze zur Erläuterung der Koordinaten einer Kollektorschale, ausgeführt als Wolterssystem mit zwei Reflexionen
 Figur 19 Ausleuchtungsverteilung (Bestrahlungsstärke) der Ringelemente in der Ebene der ersten Rasterelemente eines Systems gemäß Figur 20 mit einem Kollektor gemäß Figur 17
 Figur 20 EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit einem genesteten Kollektor gemäß Figur 17
 Figur 21 Koordinatensysteme aller Spiegel der EUV-Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 20 mit dem genesteten Kollektor gemäß Figur 17
 Figur 22 erstes optisches Element eines Beleuchtungssystems gemäß Figur 20 mit ersten Rasterelementen
 Figur 23 zweites optisches Element eines Beleuchtungssystems gemäß Figur 20 mit zweiten Rasterelementen

[0039] In der vorliegenden Anmeldung werden die in nachfolgender Tabelle aufgeführten lichttechnischen Begriffe, nach Naumann/Schröder, "Bauelemente der Optik", Hauser-Verlag 1992, S. 28-29 verwandt.

Tabelle 1:

| Lichttechnische Begriffe | | |
|---|--|------------------------------------|
| Physikalische Größe | Formel | Einheit |
| Strahlungsfluß Φ_e (Radiant Flux) | $\Phi_e = \frac{\partial Q}{\partial t}$ | Watt [W] |
| Bestrahlungsstärke E_e (Irradiance oder Flux density) | $E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_0}$ | Watt/cm ² |
| Strahlstärke I_e (Radiant Intensity) | $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$ | Watt / Steradian |
| Strahldichte L_e (Radiance) | $L_e = \frac{d\Phi_e}{dA_s \cdot \cos \alpha \cdot d\Omega}$ | Watt / cm ² / Steradian |

[0040] In Figur 1 ist eine Prinzipskizze eines Systems mit Lichtquelle 1, Kollektor 3, Quellbild 5 und Zwischenebene 7 gezeigt. Die Lichtquelle 1 strahlt in den Raum mit einer bestimmten Strahlstärke ab. Diese hängt im allgemeinen vom Winkel φ und ϕ (Winkel um die z-Achse, nicht eingezeichnet) ab: $I(\varphi, \phi)$.

[0041] Bei axialsymmetrischen Lichtquellen gilt:

$$I(\varphi, \phi) = I(\varphi).$$

[0042] Der nachfolgende Kollektor 3 sammelt das ausgestrahlte Licht und bündelt es. Er bildet die Lichtquelle 1 ab, wobei das Lichtquellenbild 5 entweder reell - wie in Figur 1 dargestellt - oder virtuell sein kann. Auch kann es sich bei der Lichtquelle 1 bereits um ein Bild einer physikalischen Lichtquelle handeln. In einer Ebene 7 hinter dem Kollektor 3 erhält man in beiden Fällen eine bestimmte Ausleuchtung 9, welche der Projektion der Strahlstärke des Strahlungskegels 11, das ist das Raumwinkelement unter dem Winkel φ' im Bildraum des Kollektors, entspricht. Wenn in einer Ebene 7 die Ausleuchtung homogenisiert ist, so ist sie es automatisch auch in jeder anderen Ebene hinter dem Kollektor, sofern sie hinreichend weit entfernt ist von der Bildebene, in der das Bild 5 der Lichtquelle 1 liegt. Dem Strahlungskegel 11 im Bildraum entspricht ein zugehöriger Strahlungskegel 13 im Objektraum, gefüllt mit der abgestrahlten Quell-Strahlstärke $I(\varphi)$ in das Raumwinkelement unter dem Winkel φ .

[0043] Gemäß der Erfindung wird eine beliebige Lichtquelle 1 in ein Bild der Quelle abgebildet. Das Quellbild kann reell (d.h. in Lichtrichtung rechts vom Kollektor 3) oder virtuell (d. h. in Lichtrichtung links vom Kollektor 3) sein oder im Unendlichen liegen.

[0044] Desweiteren wird durch die Erfindung die Abstrahlcharakteristik einer beliebigen Lichtquelle 1 so umtransformiert, daß sich in einer Ebene vor oder hinter dem Zwischenbild eine weitgehend homogene Ausleuchtung ergibt.

[0045] Gemäß der Erfindung soll gelten

$$(2.1) \quad E = \frac{\Phi}{dA} = \frac{R(\alpha) I^*(\alpha) d\Omega}{dA} = \text{const.}$$

- E: Bestrahlungsstärke in der Ebene 7
 Φ : Strahlungsfluß
 dA : Flächenelement in Ebene 7
 $d\Omega$: Winkелеlement in der objektseitigen Apertur
 $I^*(\alpha)$: Strahlstärke der Quelle unter dem Winkel α
 $R(\alpha)$: Abschwächungsfaktor proportional zu Lichtverlusten durch die endliche, winkelabhängige Reflektivität des Kollektors (im folgenden wird o.B.d.A. $I(\alpha) = R(\alpha) \cdot I^*(\alpha)$ verwendet)

[0046] Für zwei Ringelemente mit gleicher Bestrahlungsstärke muß also gelten:

$$(2.2) \quad E = \frac{\phi_1}{dA_1} = \frac{I(\alpha_1) d\Omega_1}{dA_1} = \frac{\phi_2}{dA_2} = \frac{I(\alpha_2) d\Omega_2}{dA_2}$$

woraus die Beziehung folgt:

$$(2.3) \quad \frac{d\Omega_2}{dA_2} + \frac{d\Omega_1}{dA_1} = I(\alpha_1) + I(\alpha_2)$$

[0047] Bei anisotropen Quellen oder starken Unterschieden in den Reflexionsverlusten $R(\alpha)$ müssen die Ringapertursegmente bzw. Ringelemente auf Ebene 7 entsprechend Gl. (2.3) gewählt werden.

[0048] Im allgemeinen kann die Aufgabe, ein Zwischenbild zu erzeugen und gleichzeitig eine Abstrahlcharakteristik anzupassen, nicht mit einfachen optischen Elementen wie z. B. einem Spiegel oder einer Linse, erfüllt werden. Bei um die z-Achse, die vorliegend identisch mit der optische Achse des Systems ist, rotationssymmetrischen Abstrahlcharakteristiken kann über eine spezielle Art von Fresnel-Optik zumindest für diskrete Bereiche eine gleiche Ausleuchtung erzielt werden.

[0049] Dies wird im folgenden am Beispiel eines reellen Zwischenbildes der Quelle 1 erläutert. Für virtuelle Zwischenbilder oder Quellbild im Unendlichen ergeben sich für den Fachmann in naheliegender Art und Weise ähnliche Konstruktionen.

Man wählt, um die Quelle 1 beispielsweise drei Winkelsegmente bzw. Ringaperturelemente 20, 22, 24 wie in Fig 2 gezeigt, die so angeordnet sind, daß in die jeweiligen Winkelsegmente bzw. Ringaperturelemente in radialer Richtung von der Lichtquelle 1 gleichviel Leistung abgestrahlt wird. Bei einer isotrop abstrahlenden Lichtquelle 1, wie beispielsweise einer Dense Plasma Focus Quelle, wählt man dann identische Winkelinkremente $d\alpha$, bei anisotrop abstrahlenden Quellen paßt man den Winkelabstand entsprechend an, so daß gilt

$$(2.4) \quad \Phi = \int_{\alpha_i}^{\alpha_{i+1}} I(\alpha) d\alpha = \Phi_i = \text{const.}$$

wobei

- Φ_i : Strahlungsfluß
 $I(\alpha)$: Strahlstärke der Quelle unter dem Winkel α
 α_i : Breite des i-ten Winkelsegmentes,
 α_{i+1} : äußerer Winkel des i-ten Segmentes mit $\alpha_{i+1} = \alpha_i + d\alpha_i$ $d\alpha_i$: Breite des i-ten Winkelsegmentes

[0050] Über Gleichung (2.4) werden die im allgemeinen unterschiedlichen Winkelinkremente $d\alpha_i$ bestimmt.

[0051] In Figur 2 sind die Ringapertursegmente 20, 22, 24 gezeigt. Dargestellt ist ein Beispiel mit drei Segmenten 20, 22, 24 die zwischen NA_{\min} und NA_{\max} liegen. Die Segmente 22 und 24 schließen aneinander an. Zwischen den Segmenten 20 und 22 besteht eine kleine Lücke 26.

[0052] Den einzelnen Ringapertursegmenten bzw. Ringaperturelementen 20, 22, 24 sind in der auszuleuchtenden Ebene 7 Ringelemente 30, 32, 34 zugeordnet. Die Ringelemente 30, 32, 34 werden so gewählt, daß gleich große Abstände dr zwischen den Randstrahlen der Ringelemente erzielt werden. Es gilt also:

$$(2.5) \quad r_i = r_1 + i \cdot dr$$

wobei

- 5
 r_i : Abstand des i-ten Ringelementes in der auszuleuchtenden Ebene 7 von der Rotationsachse RA
 dr : Höheninkrement = radiale Ausdehnung
 r_1 : beliebige Starthöhe (evidente Mittenabschattung bei genesteten Kollektor)

10 **[0053]** In Figur 3 ist die Ausleuchtung in der Ebene 7 mit Ringelementen 30, 32, 34 gezeigt.

[0054] Über die Kreuzungspunkte ausgewählter Strahlen sind dann die jeweiligen Ellipsenschalen des Kollektors 3 festgelegt. Bei einem virtuellem Zwischenbild sind diese hyperbelförmig, bei einem Quellenbild im Unendlichen parabelförmig. Hierzu wird ein repräsentativer Strahl in jeweils einem Ringaperturelement 20, 22, 24 gewählt.

15 **[0055]** Für eine ellipsoidförmige respektive hyperbel- oder parabelförmige Schale genügen also die Angabe von Objekt- und Bildpunkt, hier Quelle 1 und Quellbild 5, und nur einem weiteren Punkt. Vorliegend sind aber zwei Punkte, nämlich ein Anfangspunkt und ein Endpunkt der Kollektorschale gegeben, d. h. das Problem ist überbestimmt. Da jedoch die Abbildungsqualität für die Quellenabbildung für Beleuchtungszwecke in der Regel weitgehend vernachlässigt werden kann, kann man beispielsweise den Ellipsen respektive Hyperbeln oder Parabeln einen konischen Anteil in Form eines Keils oder Kegelstumpfes hinzufügen, was einer leichten Defokussierung entspricht, die nicht ins Gewicht fällt. Alternativ nimmt man eine geringfügige Abschattung in Kauf, da die auftretenden Lücken sehr gering gewählt werden können. Die Größe der Lücken kann über das Layout und insbesondere die Anzahl der Schalen minimiert werden. Die Lücken wählt man zum Beispiel so, daß sie vorne, d.h. in der aufgenommenen Leistung von der Quelle, auftreten und nicht hinten, in der auszuleuchtenden Fläche.

20 **[0056]** Es ist auch möglich, den Kollektor nur aus Kegelstümpfen aufzubauen, insbesondere dann, wenn der Kollektor viele Schalen umfaßt. Dies ist unter Fertigungsaspekten vorteilhaft.

25 **[0057]** Unter Vernachlässigung der Reflexionsverluste und der Abschattungen ist dann gewährleistet, daß sich ein jeweils gleicher Strahlungsfluß Φ sowohl durch die Winkelsegmente bzw. Ringaperturelemente 20 bis 24 als auch durch die Flächensegmente bzw. Ringelemente 30 bis 34 ergibt.

30 **[0058]** Prinzipiell ist jedoch auch möglich, die Reflexionsverluste Winkel- und damit segmentabhängig durch geeignetes Vorhalten in den Winkelinkrementen α_i zu kompensieren, wobei, da man die Fläche 7 gemäß der Erfindung weitgehend homogen ausleuchten möchte, die Ringapertursegmente, welche zu Ringsegmenten mit gleichen Inkrementen zugeordnet sind, nicht gleich groß sind.

35 **[0059]** In Figur 4 ist ein genesteter Kollektor 3 gezeigt, bestehend aus Ellipsoidsegmenten, welche rotationssymmetrisch um die z-Achse angeordnet sind, der eine weitgehend gleichverteilte Ausleuchtung der Ebene 7 gewährleistet. Aufgrund der Rotationssymmetrie um die z-Achse ist nur eine Hälfte des Kollektors 3 im Schnitt dargestellt.

[0060] Gemäß Figur 4 ergibt sich eine Schar von Schalen 40, 42, 44, 46, welche etwa äquidistant von der z-Achse, was den maximalen Schalendurchmesser betrifft, welcher etwa proportional zur Schalenummer i ist, angeordnet sind. In Figur 4 ist desweiteren die Lichtquelle 1, die auszuleuchtende Ebene 7 sowie das Quellbild 5 gezeigt. Die Bezugsziffern der anderen Elemente entsprechen denen in den vorangegangenen Figuren.

40 **[0061]** Alternativ ist eine Anordnung möglich, bei der die Länge der Schalen reduziert wird, wie in Figur 5 gezeigt. Beispielsweise kann das innerste Winkelsegment bzw. Ringaperturelement 20 in zwei Winkelsegmente bzw. Ringaperturelemente 20.1 und 20.2 geteilt werden. Entsprechend wird auch das zugeordnete innerste Ringelement 30 in der Fläche 7 in zwei Ringelemente 30.1, 30.2 geteilt. Es ergeben sich dann zwei Schalen 40.1, 40.2 für die beiden inneren Segmente, welche kürzer als eine Schale 40 sind, wie aus Figur 5 deutlich hervorgeht. Gleiche Bauteile wie in den vorangegangenen Figuren sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

45 **[0062]** Auch für refraktive Systeme kann man sich ähnliche Anordnung vorstellen. Bei refraktiven Systemen werden die genesteten Spiegelschalen 40, 42, 44, 46 durch ringförmige Off-Axis Segmente von Linsen 50, 52, 54, 56 ersetzt wie in Figur 6 gezeigt.

50 **[0063]** Figur 6 zeigt schematisch eine Anordnung von ringförmigen off-axis Segmenten von Linsen, welche eine gleichverteilte Ausleuchtung der Ebene 7 für eine bestimmte Abstrahlcharakteristik der Quelle ergibt. Das um die z-Achse rotationssymmetrische System ist im Schnitt nur zur Hälfte schematisch dargestellt. Ungleich große Winkelsegmente werden auf gleichgroße Höhensegmente abgelenkt und somit eine homogene Ausleuchtung auch bei anisotroper Quellabstrahlung zu erreichen.

55 **[0064]** Genestete, reflektive Kollektoren weisen notwendigerweise eine zentrale Abschattung auf, d. h. unterhalb einem bestimmten Aperturwinkel NA_{\min} kann die Strahlung der Quelle nicht aufgenommen werden. Diese Strahlung muß daher mit einer Blende abgeblockt werden, damit sie nicht in das nachfolgende Beleuchtungssystem gelangen kann. Die Blende kann z. B. im Bereich des Kollektors angebracht werden.

[0065] Nachfolgend soll die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher beschrieben werden.

[0066] Ausgegangen wird von einer Punkt-zu-Punkt Abbildung mit reellem Quellenbild bei isotroper Quelle mit einer Ellipsenschar entsprechend der Erfindung, wobei die Schalendurchmesser etwa äquidistant gewählt werden.
 [0067] Eine Ellipse ist definiert entsprechend der Gleichung

$$(3.1) \quad \frac{z^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1$$

wobei

$$(3.2) \quad e = \sqrt{a^2 - b^2}$$

ist.

[0068] In Figur 7 ist beispielhaft das i-te Ellipsensegment dargestellt. Da dieses rotationssymmetrisch um z-Achse ist, ist nur eine Hälfte im Schnitt gezeigt.

[0069] In Figur 7 sind für eine Spiegelschale die für die Berechnung gemäß Tabelle 1 verwandten Größen dargestellt. Für gleiche Bauteile wie in den vorangegangenen Figuren werden dieselben Bezugsziffern verwandelt. Es bezeichnet

- v(i) den i-ten Anfangspunkt der i-ten Spiegelschalen
- x(v(i)) die x-Koordinate des i-ten Anfangspunktes
- z(v(i)) die z-Koordinate des i-ten Anfangspunktes, d. h. den Anfangspunkt in Bezug auf die Rotationsachse RA
- h(i) den i-ten Endpunkt der i-ten Spiegelschale
- x(h(i)) die x-Koordinate des i-ten Endpunktes
- z(h(i)) die z-Koordinate des i-ten Endpunktes, d. h. den Endpunkt in Bezug auf die Rotationsachse RA
- m(i) den Mittelwert von Anfangs- und Endpunkt der i-ten Schale
- x(m(i)) die x-Koordinate des Mittelwertes
- z(m(i)) die z-Koordinate des Mittelwertes, d. h. den Mittelwert von Anfangs- und Endpunkt der i-ten Schale in Bezug auf die Rotationsachse RA
- a, b Parameter der Ellipse
- r(i) Abstand des i-ten Ringelementes der i-ten Schale in der auszuleuchtenden Ebene von der Rotationsachse RA
- NA(i) Sinus des Öffnungswinkels des inneren Randstrahls des i-ten Ringaperturelementes der i-ten Schale

[0070] Figur 8 zeigt für das mit den oben definierten Parametern berechnete Ausführungsbeispiel die sich ergebende Ellipsenschar der Schalen 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 80. Die Daten sind in Tabelle 2 angegeben. Alle Längen in Tabelle 2 sind in mm angegeben. Sämtliche Einfallswinkel relative zur Flächentangente sind unter 19°. Der Einfallswinkel relativ zur Flächentangente des Maximalstrahls beim Ausführungsbeispiel gemäß Figur 8 beträgt 18,54°.

[0071] Als Startwerte wurden gewählt:

Abstand zwischen Ebene 7 und Quellenbild 5:
 z = 900 mm

Halber Brennpunktsabstand:
 e = 1000 mm

Höheninkrement auf Fläche 7:
 dr = 7,5 mm

Mittenabschattung in Fläche 7:
 $r_{\min} \sim 22,5 \text{ mm}$ ($NA'_{\min} \sim 0,025$)

minimale Apertur NA_{\min} bei Quelle 1:
 $NA_{\min} = 0,12$

Maximal aufgenommene Apertur NA_{\max} :
 $NA_{\max} < 0,55$ entsprechend 33°

Winkelinkrement an Quelle 1:

$d\alpha_i = 2,4^\circ = \text{const.}$ (d. h. isotrope Abstrahlcharakteristik der Quelle)

Tabelle 2:

| Parameter der Ellipsenschar | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|-------|----------|---------|---------|----------|---------|----------|--|
| i | r(i) | NA(i) | a | b | x(h(i)) | z(h(i)) | x(v(i)) | z(v(i)) | |
| 60 | 22,507 | 0,120 | 1002,009 | 63,422 | 52,266 | -567,601 | 43,117 | -734,837 | |
| 62 | 30,007 | 0,161 | 1003,391 | 82,423 | 66,429 | -593,993 | 57,195 | -722,489 | |
| 64 | 37,507 | 0,203 | 1005,130 | 101,423 | 80,551 | -610,765 | 71,258 | -715,251 | |
| 66 | 45,007 | 0,243 | 1007,231 | 120,475 | 94,679 | -622,848 | 85,334 | -710,997 | |
| 68 | 52,507 | 0,284 | 1009,699 | 139,612 | 108,838 | -632,382 | 99,443 | -708,705 | |
| 70 | 60,007 | 0,324 | 1012,540 | 158,863 | 123,046 | -640,449 | 113,597 | -707,824 | |
| 72 | 67,507 | 0,363 | 1015,762 | 178,250 | 137,317 | -647,655 | 127,810 | -708,034 | |
| 74 | 75,007 | 0,402 | 1019,374 | 197,798 | 151,664 | -654,371 | 142,092 | -709,139 | |
| 76 | 82,507 | 0,440 | 1023,386 | 217,529 | 166,097 | -660,836 | 156,455 | -711,012 | |
| 78 | 90,007 | 0,477 | 1027,808 | 237,466 | 180,628 | -667,215 | 170,909 | -713,571 | |
| 80 | 97,507 | 0,513 | 1032,654 | 257,632 | 195,269 | -673,626 | 185,464 | -716,763 | |
| | | | | | | | | | |

[0072] In Figur 9 ist der Abbildungsmaßstab β des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 8 und Tabelle 2 als Maß für die Homogenität der Ausleuchtung als Funktion vom bildseitigen Aperturwinkel aufgetragen. Über den Winkel muß der Abbildungsmaßstab β nicht konstant sein, aber über den Maximalradius r_{max} in Ebene 7 muß sich ein bestimmter Abbildungsmaßstab einstellen.

[0073] In Figur 10 ist der ideale Abbildungsmaßstab β -ideal und der reale Abbildungsmaßstab β durch diskretisierte Lösung der Kollimationsaufgabe dargestellt in Abhängigkeit von dem Radius r in der Ebene 7. Die Abweichung vom idealen Abbildungsmaßstab kann verringert werden durch eine Vergrößerung der Anzahl der Schalen, beispielsweise durch eine Aufspaltung der inneren Schalen in z.B. jeweils zwei Schalen wie in Figur 5 gezeigt. Damit kann eine noch bessere Homogenisierung der Ausleuchtung in Fläche 7 erreicht werden.

[0074] In Figur 11 ist in einer Prinzipansicht eine Projektionsbelichtungsanlage für die Herstellung von beispielsweise mikro-elektronischen Bauteilen, bei der die Erfindung zur Anwendung kommen kann, gezeigt. Die Projektionsbelichtungsanlage umfaßt eine Lichtquelle oder ein Zwischenbild einer Lichtquelle 1. Das von der Lichtquelle 1 ausgesandte Licht, von dem nur vier repräsentative Strahlen gezeichnet sind, wird von einem erfindungsgemäßen genesteten Kollektor 3 gesammelt und auf einen Spiegel 102 mit einer Vielzahl von ersten Rasterelementen, sogenannten Feldwaben gelenkt. Im vorliegenden Fall sind die ersten Rasterelemente plan. Der Spiegel 102 wird auch als Feldwabenspiegel bezeichnet. Die Ausleuchtung in der Feldwabenebene 103 ist in einem vorgegebenen annularen Bereich weitgehend homogen wie in Figur 12 gezeigt. Die Feldebene 103 steht nicht genau senkrecht zur optischen Achse des Kollektors und entspricht damit nicht exakt der homogen auszuleuchtenden Ebene 7 aus Figur 1. Geringe Neigungswinkel ändern jedoch an der Ableitung nichts und führen nur zu geringen Verzerrungen der Ausleuchtung und damit zu einer vernachlässigbaren Abweichung von der Homogenität, wie sie in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse des Kollektors vorliegen würde. Das Beleuchtungssystem ist eine doppelt facettierte Beleuchtungssystem wie in der US 6,198,793 B1 offenbart, deren Inhalt vollumfänglich in die doppelte Anmeldung mit aufgenommen wird. Das System umfaßt somit ein zweites optisches Element mit Rasterelementen 104, die als Pupillenwaben bezeichnet werden. Die optischen Elemente 106, 108 und 110 dienen im wesentlichen dazu, das Feld in der Objektebene 114 zu formen. Das Retikel in der Objektebene ist eine Reflexionsmaske. Das Retikel ist in dem als Scanning-System ausgelegten EUV-Projektionssystem in die eingezeichnete Richtung 116 verfahrbar. Die Austrittspupille des Beleuchtungssystems wird weitgehend homogen ausgeleuchtet. Die Austrittspupille fällt mit der Eintrittspupille eines nachfolgenden Projektionsobjektives zusammen. Die Eintrittspupille des Projektionsobjektives ist nicht dargestellt. Sie befindet sich an der Stelle des Schnittpunktes des vom Retikel reflektierten Hauptstrahles mit der optischen Achse des Projektionsobjektives.

[0075] Ein Projektionsobjektiv 126 beispielsweise mit sechs Spiegeln 128.1, 128.2, 128.3, 128.4, 128.5, 128.6 gemäß der US-Patentanmeldung 09/503640 bildet das Retikel auf das zu belichtende Objekt 124 ab.

[0076] Figur 12 zeigt die Ausleuchtungsverteilung in der Ebene des ersten optischen Elementes mit ersten Raster-

elementen und den Mittelwert der Ausleuchtung. Die Bestrahlungsstärke $E(r)$ ist in Abhängigkeit vom radialen Abstand r von der Rotationsebene z des genesteten Kollektors gezeigt. Deutlich zu erkennen ist die nur diskrete Erfüllung der homogenisierten Ausleuchtung.

[0077] In Figur 13 ist eine Prinzipskizze einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage gezeigt, die sich von der in Figur 11 dargestellten Anlage lediglich dadurch unterscheidet, daß die Lichtquelle 1 in ein Zwischenbild Z abgebildet wird. Zusätzlich weisen die ersten Rasterelemente jetzt eine sammelnde Wirkung auf. Das Zwischenbild Z der Lichtquelle 1 wird zwischen Kollektor 3 und dem ersten facettierten Spiegel 102 ausgebildet. Sämtliche anderen Bauelemente sind identisch mit den Bauelementen gemäß Figur 11 und tragen daher dieselben Bezugszeichen.

[0078] In den nachfolgenden Figuren 14 bis 21 werden erfindungsgemäße genestete Kollektoren beschrieben, die als Woltersysteme ausgeführt sind.

[0079] Ein Woltersystem, bestehend vorzugsweise aus einer Kombination eines Hyperboloids und eines Ellipsoids für die reelle Abbildung der Lichtquelle 1 in ein Zwischenbild Z der Quelle, aber auch Hyperboloid-Paraboloid für eine Abbildung nach unendlich, zeichnet sich durch weitgehende Erfüllung der Sinusbedingung aus, d.h. die Vergrößerung bzw. der Abbildungsmaßstab einer Kombination von Hyperboloid und Ellipsoid ist über einen großen Aperturbereich weitgehend konstant. Wie Figur 9 zeigt, variiert bei einem Kollektor zur homogenisierten Ausleuchtung mit nur einfachen Ellipsoid-Schalen der Abbildungsmaßstab β innerhalb der Schale sehr stark. Bei einem Woltersystem ist der Abbildungsmaßstab β hingegen innerhalb der Schale weitgehend konstant. Dies ist in Figur 14 für ein 8-schaliges genestetes System gemäß Figur 17 gezeigt, bei dem jede einzelne der genesteten Spiegelschalen ein Woltersystem ist, mit einem ersten ringförmigen Segment mit einer ersten optischen Fläche, die ein Ausschnitt eines Hyperboloides ist und einem zweiten ringförmigen Segment mit einer zweiten optischen Fläche, die ein Ausschnitt eines Ellipsoids ist.

[0080] Da, wie in Figur 14 gezeigt, eine Schale eines Woltersystems nahezu einen konstanten Abbildungsmaßstab β aufweist, ist es zur Erreichung einer ideal homogenisierten Ausleuchtung einer Ebene erforderlich, daß in der objektseitigen Apertur Lücken auftreten. Dies gilt insbesondere auch deswegen, weil unter streifendem Einfall an den Schalen, die den größten Abstand zur Rotationsachse aufweisen, die Reflektivität geringer ist als Schalen, die den geringsten Abstand zur Rotationsachse aufweisen. Als Spiegelmateriale kommen vorzugsweise Molybdän, Niob, Ruthenium, Radium, Palladium oder Gold in Frage. Das muß durch einen zunehmenden Abbildungsmaßstab kompensiert werden. Zur homogenen Ausleuchtung muß dann von Schale zu Schale der Abbildungsmaßstab geändert werden. Will man dabei eine lückenlose Füllung der Apertur nach dem Kollektor bzw. eine lückenlose Ausleuchtung der Fläche 7 hinter dem genesteten Kollektor erreichen, so treten in der objektseitigen Apertur Lücken auf. Dies ist bei einem Kollektor mit zum Beispiel ellipsoidförmigen Schalen, wie in den Figuren 1 bis 13 beschrieben, nicht der Fall, da dort der Abbildungsmaßstab über die Schale variiert und damit neben der homogenisierten, lückenlosen Ausleuchtung einer Ebene 7 zusätzlich auch eine lückenlose objektseitige Apertur erreicht werden kann.

[0081] In Figur 15 sind von einem genesteten Kollektor gemäß der Erfindung exemplarisch drei Schalen gezeigt, wobei jede Spiegelschale 200, 202 und 204 ein Woltersystem mit einem ersten ringförmigen Segment 200.1, 202.1, 204.1 mit einer ersten optischen Fläche 200.2, 202.2, 204.2 und einem zweiten ringförmigen Segment 200.3, 202.3, 204.3 mit einer zweiten optischen Fläche 200.4, 202.4, 204.4 aufweist. Die einzelnen Schalen 200, 202, 204 sind rotationssymmetrisch um die z -Achse angeordnet. Der Abbildungsmaßstab β der innersten Schale 200 beträgt 6.7, der der zweiten Schale 202 7.0 und der der äußersten Schale 204 7.5. Wie man aus Figur 15 erkennt, grenzen die Ringaperturlemente 210, 212, 214, die den jeweiligen Spiegelschalen 200, 202 und 204 zugeordnet sind, nicht aneinander, d.h. die objektseitige Apertur des in Figur 15 gezeigten Kollektors weist zwischen den einzelnen Ringaperturlementen 210, 212, 214 Lücken 220, 222, 224 auf. Die der jeweiligen Spiegelschale 200, 202, 204 zugeordneten Ringelemente 230, 232, 234 in der Ebene 7 schließen zur Erzielung einer homogenen Ausleuchtung eines Bereiches der Ebene 7 weitgehend kontinuierlich aneinander an.

[0082] Bei der in Figur 15 dargestellten Ausführungsform schließen auch die erste optische Fläche 200.2, 202.2, 204.2 und die zweite optische Fläche 200.4, 202.4 und 204.4 ohne Lücke direkt aneinander an.

[0083] In Figur 16 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei exemplarisch nur zwei Spiegelschalen 200, 202, die als Woltersystem ausgelegt sind, dargestellt sind. Gleiche Bauteile wie in Figur 15 sind mit denselben Bezugsziffern belegt. Bei der Ausführungsform in Figur 16 schließen die erste optische Fläche 200.2, 202.2 und die zweite optische Fläche 200.4, 202.4 nicht direkt aneinander an. Zwischen den optischen Flächen gibt es je eine Lücke bzw. einen ungenutzten Bereich 240, 242. Im ungenutzten Bereich werden im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Spiegelschalen jedoch bis zum Schnittpunkt S1, S2 von ersten und zweiten Segment 200.1, 202.1, 200.3, 202.3 der jeweiligen Spiegelschale fortgeführt.

[0084] Ein Design mit Lücken bzw. ungenutzten Bereichen, wie in Figur 16 gezeigt, ist vorteilhaft bei ausgedehnten Lichtquellen.

[0085] Bei der Auslegung des Kollektors ist stets eine Abwägung zwischen Kollektionseffizienz und Homogenität der Ausleuchtung vorzunehmen. Will man in der auszuleuchtenden Fläche 7 lediglich eine Homogenität von $\pm 15\%$ erreichen, so kann hierfür ein 8-schaliger Kollektor, wie in Figur 17 gezeigt, eingesetzt werden. Hierbei bezeichnen 200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209 die jeweiligen Spiegelschalen mit je zwei Spiegelsegmenten, wobei jede Schale ein

Woltersystem darstellt.

[0086] Der Kollektor aus Figur 17 hat einen Abstand zwischen Quelle 1 und Zwischenbild der Quelle Z von 1500 mm, eine objektseitige Apertur von ~ 0.72 und eine bildseitige Apertur von ~ 0.115 . Sämtliche Einfallswinkel relativ zur Flächentangente sind $\leq 13^\circ$. Der Einfallswinkel relativ zur Flächentangente des Maximalstrahls beim Ausführungsbeispiel gemäß Figur 17 beträgt 11.9° .

[0087] In Figur 17 ist des weiteren eine im Inneren der innersten Spiegelschale angeordnete Blende 180 gezeigt. Genestete, reflektive Kollektoren weisen wegen der endlichen Größe der Spiegelschalen notwendigerweise eine zentrale Abschattung auf, d. h. unterhalb eines bestimmten Aperturwinkels NA_{\min} kann die Strahlung der Quelle nicht aufgenommen werden. Die Blende 180 verhindert, daß direkt durch die zentrale Schale gelangendes Licht nicht als Falschicht in das nachfolgende Beleuchtungssystem gelangt. Die Blende 180 ist beispielsweise 78 mm hinter der Quelle angeordnet und hat einen Durchmesser von 30.3 mm entsprechend einer Aperturobskuration von $NA_{\text{obs}} \sim 0.19$, die bildseitige Aperturobskuration beträgt entsprechend $NA'_{\text{obs}} \sim 0.0277$.

[0088] In Figur 18 sind beispielhaft für die Spiegelschale 200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209 des Kollektors gemäß Figur 17 die charakteristischen Koordinaten eines Woltersystems, umfassend zwei Segmente, beispielsweise das erste Segment 200.1 und das zweite Segment 200.3 der ersten Spiegelschale 200 dargestellt. Es bezeichnet ZS die z-Position des Flächenscheitels bezogen auf die Position der Lichtquelle 1, ZV und ZH die Anfangs- und Endposition des ersten Segmentes 200.1, das ein Hyperboloid ist, bezogen auf die Position des Flächenscheitels ZS. Für das zweite Segment 200.3 der Spiegelschale, das ein Ellipsoid ist, werden die Bezugszeichen ZS, ZH und ZV in analoger Art und Weise verwandt.

[0089] Mit den Krümmungsradien R und der konischen Konstanten K des jeweiligen Spiegelsegmentes sowie den angegebenen Definitionen ergeben sich die Designdaten des Kollektors gemäß Figur 17 aus nachfolgender Tabelle 3. Als Beschichtung der Spiegelschalen wurde Ruthenium gewählt.

Tabelle 3:

| Designdaten des Kollektors gemäß Figur 17 | | | | | |
|---|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | Hyperboloid | | | | |
| Schale | R [mm] | K | ZS [mm] | ZV [mm] | ZH [mm] |
| 1 | 1.5866 | -1.0201 | -0.79 | 108.99 | 185.86 |
| 2 | 2.3481 | -1.0286 | -1.17 | 107.92 | 183.90 |
| 3 | 3.5076 | -1.0399 | -1.74 | 107.56 | 182.35 |
| 4 | 5.0414 | -1.0571 | -2.49 | 105.05 | 179.53 |
| 5 | 7.2534 | -1.0814 | -3.56 | 102.83 | 177.68 |
| 6 | 10.4354 | -1.1182 | -5.07 | 99.95 | 175.90 |
| 7 | 15.0523 | -1.1755 | -7.22 | 94.87 | 173.09 |
| 8 | 22.3247 | -1.2660 | -10.50 | 8x8.88 | 169.39 |
| | Ellipsoid | | | | |
| Schale | R[mm] | K | ZS[mm] | ZV[mm] | ZH[mm] |
| 1 | 2.3724 | -0.9971 | -160.94 | 349.66 | 433.46 |
| 2 | 3.3366 | -0.9960 | -168.17 | 353.68 | 440.17 |
| 3 | 4.6059 | -0.9945 | -181.56 | 363.50 | 454.10 |
| 4 | 6.4739 | -0.9923 | -184.74 | 364.03 | 457.33 |
| 5 | 9.0813 | -0.9893 | -189.80 | 366.19 | 463.15 |
| 6 | 12.8589 | -0.9849 | -193.20 | 365.14 | 466.03 |
| 7 | 18.4682 | -0.9783 | -195.28 | 362.33 | 470.02 |
| 8 | 26.8093 | -0.9688 | -202.36 | 362.94 | 480.72 |

[0090] Das Ausführungsbeispiel des Woltersystems gemäß Figur 17 mit acht Schalen ist so gewählt, daß alle Schalen in etwa in einer Ebene 181 enden. Damit können alle Schalen in einer Ebene 181 gefaßt werden. Vorzugsweise

ist die Blende 180 in oder nahe dieser Ebene angeordnet.

[0091] In Figur 19 ist die ermittelte Ausleuchtungsverteilung in der Ebene 7 des Beleuchtungssystems gemäß Figur 20 gezeigt. Das Beleuchtungssystem gemäß Figur 20 umfaßt direkt hinter der Lichtquelle einen 8-schaligen genesteten Kollektor gemäß Figur 17. Der Berechnung der Bestrahlungsstärke gemäß Figur 19 wurde eine Ruthenium-Beschichtung der Spiegelschalen mit deren winkelabhängiger Reflektivität zugrundegelegt. Für andere Beschichtungen kann das Design des Kollektors entsprechend angepaßt werden.

[0092] In Figur 19 ist die Mittenabschattung durch die Blende 180 deutlich zu erkennen. Die Mittenabschattung ist mit der Bezugsziffer 182 belegt. Der Verlauf der Intensität in der Ebene 7 ist mit 184 bezeichnet. Deutlich zu erkennen sind zwei zur Rotationsachse RA des Kollektors symmetrische Intensitätspeaks 184.1, 184.2, die in der Ebene 7 zu einer ringförmigen Ausleuchtung führen. Die gestrichelte Kurve 186 gibt den Bereich an, in dem auf dem ersten optischen Element 102 des Beleuchtungssystems gemäß Figur 20 erste Rasterelemente angeordnet sind.

[0093] Die optischen Komponenten und der Strahlverlauf einiger Lichtstrahlen einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem genesteten Kollektor gemäß Figur 17 sind in Figur 20 gezeigt. Gleiche Bauteile wie bei der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 11 sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0094] Im Gegensatz zur Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 11 ist das Beleuchtungssystem nicht wie ein "X" gefaltet, sondern auf kompakten Bauraum optimiert. Zur Reduktion der Systemlänge ist ferner die bildseitige Apertur des genesteten Kollektors 3, der einen Aufbau wie in Figur 17 hat, auf $NA = 0.115$ erhöht, wofür die Auslegung als Woltersystem besonders vorteilhaft ist. Die objektseitige Apertur beträgt $NA \sim 0.71$. Zusätzlich eingefügt ist auf den Kollektor 3 folgend ein Planspiegel 200 zur Faltung des Systems, um Bauräume für mechanische und elektronische Komponenten in der Objektebene 114, in der der Waferstage angeordnet ist, zur Verfügung zu stellen. Das gesamte optische System ist weniger als 3 m lang und weniger als 1.75 m hoch.

[0095] Der Planspiegel 200 ist in der vorliegenden Ausführungsform als diffraktives Spektralfilter ausgelegt worden, d.h. durch ein Gitter realisiert. Zusammen mit der Blende 202 in der Nähe des Zwischenbildes Z der Quelle kann damit ungewünschte Strahlung mit beispielsweise Wellenlängen wesentlich größer als der gewünschten Wellenlänge, im vorliegenden Fall 13.5 nm, vom Eintritt in den Teil des hinter der Blende 202 liegenden Beleuchtungssystems abgehalten werden.

[0096] Die Blende 202 kann auch dazu dienen, den Raum 204 umfassende Lichtquelle 1, den genesteten Kollektor 3 sowie den als Gitter ausgelegten Planspiegel 200 vom nachfolgenden Beleuchtungssystem 206 räumlich zu trennen. Werden beide Räume durch das Einbringen eines Ventiles nahe des Zwischenfokus Z getrennt, so ist auch eine druckmäßige Trennung möglich. Durch eine räumliche beziehungsweise eine druckmäßige Trennung kann verhindert werden, daß Verschmutzungen, die von der Lichtquelle herrühren in das hinter der Blende 202 liegende Beleuchtungssystem gelangen.

[0097] Das in Figur 20 gezeigte Beleuchtungssystem umfaßt einen genesteten Kollektor 3 mit 8 Schalen gemäß Figur 17 sowie Tabelle 3. Der Planspiegel 200 des Designs gemäß Figur 20 ist als Spektralfilter mit einem Beugungswinkel von 2° zwischen 0. und genutzter Beugungsordnung ausgebildet. Das erste optische Element 102 umfaßt 122 erste Rasterelemente mit einer Ausdehnung von jeweils $54 \text{ mm} \times 2.75 \text{ mm}$. Das zweite optische Element 104 weist 122 den ersten Rasterelementen zugeordneten zweiten Rasterelementen mit einem Durchmesser von jeweils 10 mm. Alle Ortsangaben der optischen Komponenten in Tabelle 4 sind auf das Referenz-Koordinatensystem in der Objektebene 114 bezogen. Die Dehnung um den Winkel α um die lokale x-Achse der der jeweiligen optischen Komponente zugeordneten lokalen Koordinaten-Systeme ergeben sich nach translatorischer Verschiebung des Referenz-Koordinatensystemes an den Ort des lokalen Koordinatensystems. Die Parameter der optischen Komponenten des Beleuchtungssystems gemäß Figur 20 sind in Tabelle 4 angegeben. In Tabelle 4 sind die Positionen der Scheitelpunkte der einzelnen optischen Elemente bezüglich der Objektebene 114 angegeben und die Drehwinkel α der Koordinatensysteme um die x-Achse. Des weiteren werden rechtshändige Koordinatensysteme und Drehung im Uhrzeigersinn zugrundegelegt. Neben den lokalen Koordinatensystemen der optischen Komponenten sind die lokalen Koordinatensysteme des Zwischenfokusses Z und der Eintrittspupille E angegeben. Der feldformende Spiegel 110 besteht aus einem außersaxialen Segment eines Rotationshyperboloids. Die Koordinatensysteme für sämtliche in Tabelle 4 beschriebenen optischen Elemente des Beleuchtungssystem gemäß Figur 20 ausgenommen dem genesteten Kollektor 3 sind in Figur 21 gezeigt. Sämtliche optischen Elemente sind mit denselben Bezugsziffern wie in Figur 20 belegt.

[0098] Das System ist für einen Feldradius von 130 mm bei einer Beleuchtungsapertur von $NA = 0.03125$ in der Objektebene 114, d. h. am Retikel ausgelegt, entsprechend einem Füllgrad von $\sigma = 0.5$ in der Eintrittspupille E eines nachfolgenden 4:1-Projektionsobjektives mit einer Apertur $NA = 0.25$ in der Ebene 124 des zu belichtenden Objektes.

Tabelle 4:

| Designdaten des Systems gemäß Figur 20 | | | | | |
|--|----------|-----------|----------|-------------------------|--------------------|
| Position | Y | Z | α | Scheitelkrümmungsradius | konische Konstante |
| Licht-Quelle 1 | 2148.137 | -1562.205 | 70.862 | - keine Spiegelfläche - | |

Tabelle 4: (fortgesetzt)

| Designdaten des Systems gemäß Figur 20 | | | | | |
|--|----------|-----------|----------|-------------------------|--------------------|
| Position | Y | Z | α | Scheitelkrümmungsradius | konische Konstante |
| Planspiegel bzw. Spektralfilter 200 | 1184.513 | -1227.797 | 147.434 | Plan | |
| Zwischenfokus Z | 883.404 | -893.382 | 42.000 | - keine Spiegelfläche - | |
| erstes facettiertes optisches Element 102 | 302.599 | -248.333 | 36.000 | -898.54 | sphärisch |
| zweites facettiertes optisches Element 104 | 773.599 | -1064.129 | 214.250 | -1090.15 | sphärisch |
| Spiegel 106 | 126.184 | -250.216 | 31.500 | 288.1 | sphärisch |
| Spiegel 108 | 372.926 | -791.643 | 209.600 | -855.8 | sphärisch |
| Spiegelscheitel von Spiegel 110 | -227.147 | 118.541 | -4.965 | -80.5 | -1.1485701 |
| Objektebene 114 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | Plan | |
| Eintrittspupille E | -130.000 | -1236.867 | 0.000 | -keine Spiegelfläche | |

[0099] Wie der in den Figuren 1 bis 13 gezeigte genestete Kollektor, so können auch die Schalen des Woltersystems einfach durch Abformtechniken hergestellt werden.

[0100] In Figur 22 ist das erste optische Element 102 in der Ebene 7 des Beleuchtungssystems gemäß Figur 20 mit lokalem x-y-Koordinatensystem gezeigt. Deutlich zu erkennen ist die Anordnung der 122 ersten Rasterelemente 150.

[0101] Die ersten Rasterelemente 150 sind in zehn zueinander beabstandeten Blöcken 152.1, 152.2, 152.3, 152.4, 152.5, 152.6, 152.7, 152.8, 152.9, 152.10 angeordnet. In dem durch die Zentralabschattung 154 des Kollektors 3 nicht ausgeleuchteten Bereiches in der Ebene 7 sind keine ersten Rasterelemente 150 angeordnet. Die maximale Abweichung der Bestrahlungsstärke zwischen einzelnen ersten Rasterelementen 150 ist bei Einsatz eines genesteten Kollektors gemäß Figur 17 kleiner als $\pm 15\%$.

[0102] Figur 23 zeigt die Anordnung der zweiten Rasterelemente 156 auf dem zweiten optischen Element 104. Die Bilder der zweiten Rasterelemente 156 füllen die Austrittspupille des Beleuchtungssystems kontinuierlich bis zu einem gegebenen Füllgrad von $\sigma = 0.5$. Betreffend die Definition des Füllgrades in der Austrittspupille wird auf die WO 01/09684 verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird.

[0103] Mit der Erfindung wird erstmals ein Kollektor angegeben, der eine beliebige Lichtquelle in ein Bild der Quelle abbildet. Das Quellbild kann reell, virtuell oder im Unendlichen liegen. Die Abstrahlcharakteristik der beliebigen Lichtquelle wird so umtransformiert, daß sich in einer Ebene vor oder hinter dem Zwischenbild eine weitgehend homogene Ausleuchtung ergibt.

Patentansprüche

1. Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge ≤ 193 nm, bevorzugt ≤ 126 nm, besonders bevorzugt EUV-Wellenlängen mit

- 1.1 einer objektseitigen Apertur, die von einer Lichtquelle (1) abgestrahltes Licht aufnimmt,
- 1.2 einer Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80, 200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209), welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind, wobei jeder Spiegelschale ein Ringaperturelement (20, 22, 24, 210, 212, 214) der objektseitigen Apertur zugeordnet ist,
- 1.3 einen auszuleuchtenden Bereich in einer Ebene (7), der aus Ringelementen (30, 32, 34, 230, 232, 234) besteht, wobei jedem Ringelement (30, 32, 34, 230, 232, 234) ein Ringaperturelement (20, 22, 24, 210, 212, 214) zugeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet, daß

1.4 die Ringaperturelemente (20, 22, 24, 210, 212, 214) nicht überlappen
 1.5 die Ringelemente (30, 32, 34, 230, 232, 234) nicht überlappen und in der Ebene (7) weitgehend kontinuierlich aneinander anschließen und
 1.6 die Ausdehnungen in Richtung der Rotationsachse, die Flächenparameter und die Positionen der Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80, 200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209) derart gestaltet sind, daß die Bestrahlungsstärken der einzelnen Ringelemente (30, 32, 34, 230, 232, 234) in der Ebene (7) weitgehend übereinstimmen.

2. Kollektor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Ausdehnungen der Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) in Richtung der Rotationsachse verschieden sind.
3. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Mittelwert aus Anfangs- und Endpunkt einer Spiegelschale (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80, 200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209) in Bezug auf die Rotationsachse die Position einer Spiegelschale angibt und daß die Position einer äußeren Spiegelschale weiter entfernt ist von der Ebene (7) als die Position einer inneren Spiegelschale.
4. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Quotient aus einem ersten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes und einem zweiten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines zweiten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes im wesentlichen gleich ist dem Quotienten aus einer ersten Strahlstärke, die um den Reflektivitätsverlust einer ersten Spiegelschale vermindert ist, die in das erste Ringaperturelement fließt, und aus einer zweiten Strahlstärke, die um den Reflektivitätsverlust einer zweiten Spiegelschale vermindert ist, die in das zweite Ringaperturelement fließt.
5. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Lichtquelle (1) das Licht isotrop abstrahlt und ein erstes Verhältnis der radialen Ausdehnung eines ersten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes im wesentlichen gleich ist dem zweiten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines zweiten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes.
6. Kollektor nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die radiale Ausdehnung von mindestens zwei Ringelementen (30, 32, 34) gleich groß ist und die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse der dem inneren Ringelement (30) zugeordneten Spiegelschale (40, 60) größer ist als die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse der dem äußeren Ringelement (32) zugeordneten Spiegelschale (42, 62).
7. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) ringförmige Segmente von Asphären sind.
8. Kollektor nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) ein ringförmiges Segment eines Ellipsoids, oder eines Paraboloids oder eines Hyperboloids sind.
9. Kollektor nach einem der Ansprüche 1-5, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens eine Spiegelschale (200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209) ein erstes Segment (200.1, 202.1, 204.1) mit einer ersten optischen Fläche (200.2, 202.2, 204.4) und ein zweites Segment (200.3, 202.3, 204.3) mit einer zweiten optischen Fläche umfaßt (200.4, 202.4, 204.4).
10. Kollektor nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** das erste ringförmige Segment (200.1, 202.1, 204.1) ein Ausschnitt eines Hyperboloides und das zweite ringförmige Segment (200.3, 202.3, 204.3) ein Ausschnitt eines Ellipsoids ist.
11. Kollektor nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** das erste ringförmige Segment (200.1, 202.1, 204.1) ein Ausschnitt eines Hyperboloides und das zweite ringförmige Segment (200.3, 202.3, 204.3) ein Ausschnitt eines Paraboloides ist.
12. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens zwei benachbarte Ringaperturelemente nicht kontinuierlich aneinander anschließen.
13. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** das innerste Ringaperturelement

des Kollektors (3) eine zentrale Aperturobskuration aufweist und die numerische Apertur NA_{\min} der Aperturobskuration maximal 0,30, bevorzugt maximal 0,20, besonders bevorzugt maximal 0,15, insbesondere bevorzugt maximal 0,1 beträgt.

- 5 14. Kollektor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** innerhalb des innersten Ringaperturelementes des Kollektors (3) eine Blende (180) angeordnet ist.
- 10 15. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die objektseitige Apertur eine numerische Apertur NA_{\max} von mindestens 0,4, bevorzugt mindestens 0,5, besonders bevorzugt mindestens 0,7 aufweist.
- 15 16. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kollektor mindestens drei, bevorzugt mehr als sechs, besonders bevorzugt mehr als zehn Spiegelschalen aufweist.
17. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Strahlen des von der Lichtquelle (1) ausgehenden Strahlbüschels mit Einfallswinkeln kleiner 20° zur Flächentangente der Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209) auftreffen.
- 20 18. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere < 126 nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich, mit
 - 18.1 einer Lichtquelle (1)
 - 18.2 wenigstens einem Kollektor (3)
 - 18.3 einer auszuleuchtenden Ebene (7, 103)
 - 25 **dadurch gekennzeichnet, daß**
 - 18.4 der Kollektor ein Kollektor (3) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18 ist.
- 30 19. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere < 126 nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich, gemäß Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Beleuchtungssystem des weiteren ein erstes optisches Element 102, umfassend erste Rasterelemente 150 aufweist.
- 35 20. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere < 126 nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich gemäß einem der Ansprüche 18 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kollektor (3) in der auszuleuchtenden Ebene (7, 103) einen ringförmigen Bereich ausleuchtet und daß die ersten Rasterelemente (150) des ersten optischen Elementes (102), das in der auszuleuchtenden Ebene (7, 103) angeordnet ist, annähernd innerhalb des ringförmigen Bereiches angeordnet sind.
- 40 21. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere < 126 nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich, gemäß Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Beleuchtungssystem des weiteren optische Elemente (106, 108, 110) zur Abbildung und/oder Feldformung umfaßt.
- 45 22. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere < 126 nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich, gemäß einem der Ansprüche 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Beleuchtungssystem zwischen dem Kollektor (3) und der auszuleuchtenden Ebene (103) eine zur Lichtquelle (1) konjugierte Ebene umfaßt, in der ein Zwischenbild (Z) der Lichtquelle (1) ausgebildet wird.
- 50 23. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere < 126 nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich gemäß einem der Ansprüche 19 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** im oder nahe dem Zwischenbild (Z) eine Blende (202) angeordnet ist, die einen Raum umfassend mindestens die Lichtquelle (1) und den Kollektor (3) räumlich und/oder druckmäßig vom nachfolgenden Beleuchtungssystem trennt.
- 55 24. EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit
 - 24.1 einem Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 19 bis 23,
 - 24.2 einer Maske, die von dem Beleuchtungssystem beleuchtet wird,
 - 24.3 ein Projektionsobjektiv (126) zur Abbildung der Maske auf

24.4 ein lichtsensitives Objekt.

25. Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen, insbesondere Halbleiter-Bauteilen mit einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 24.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig.1

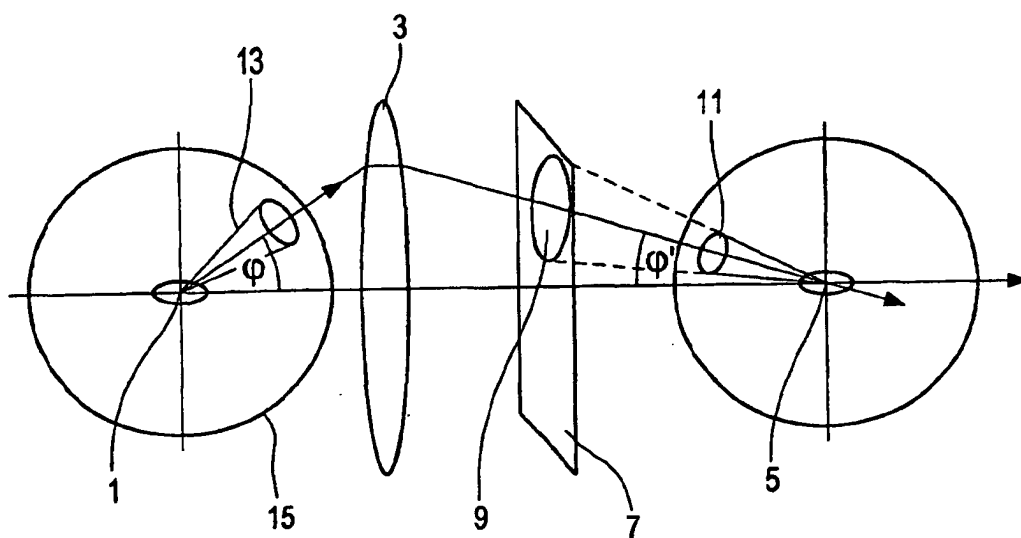


Fig.2

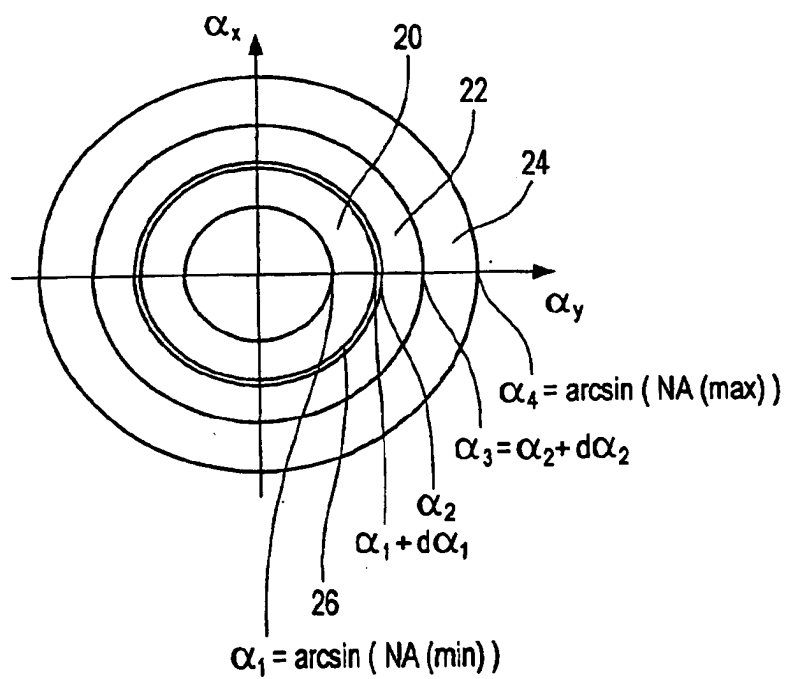


Fig.3

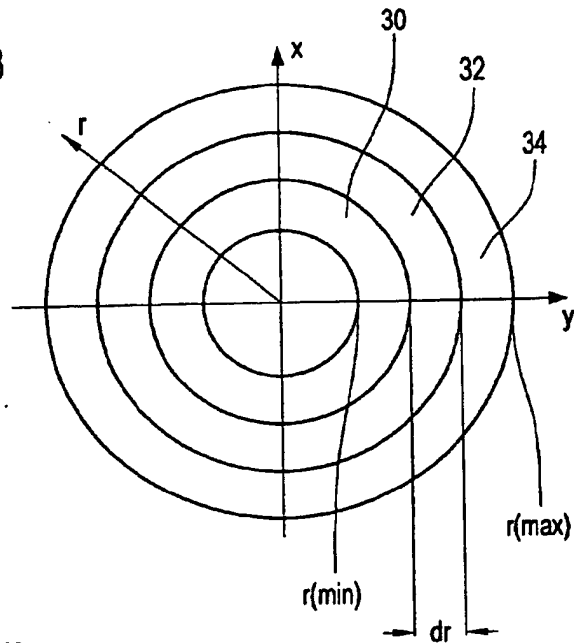


Fig.4

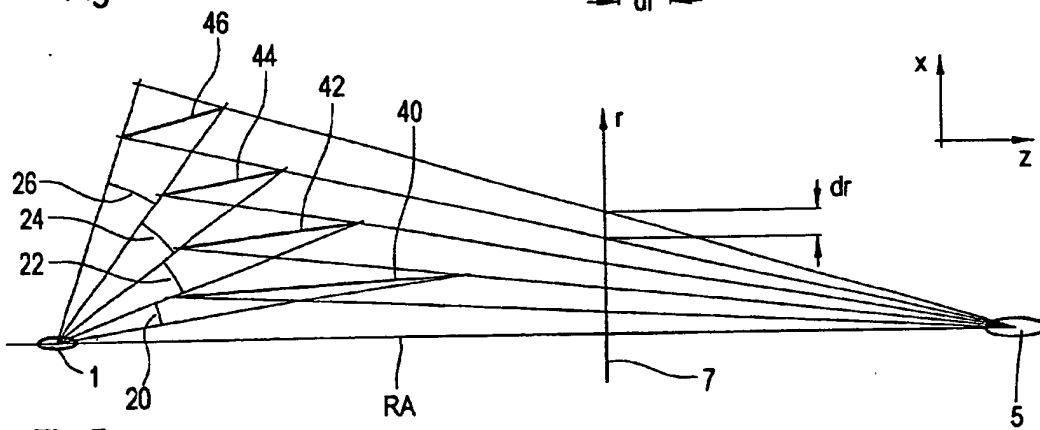


Fig.5

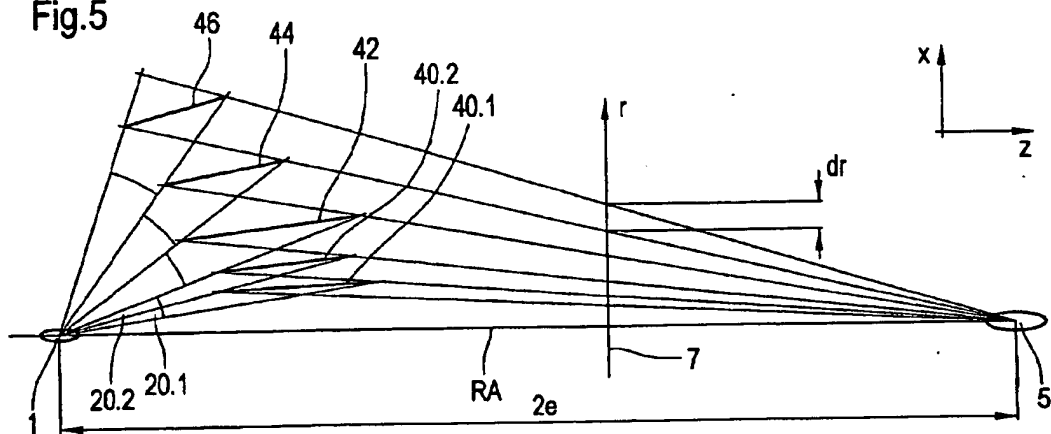


Fig.6

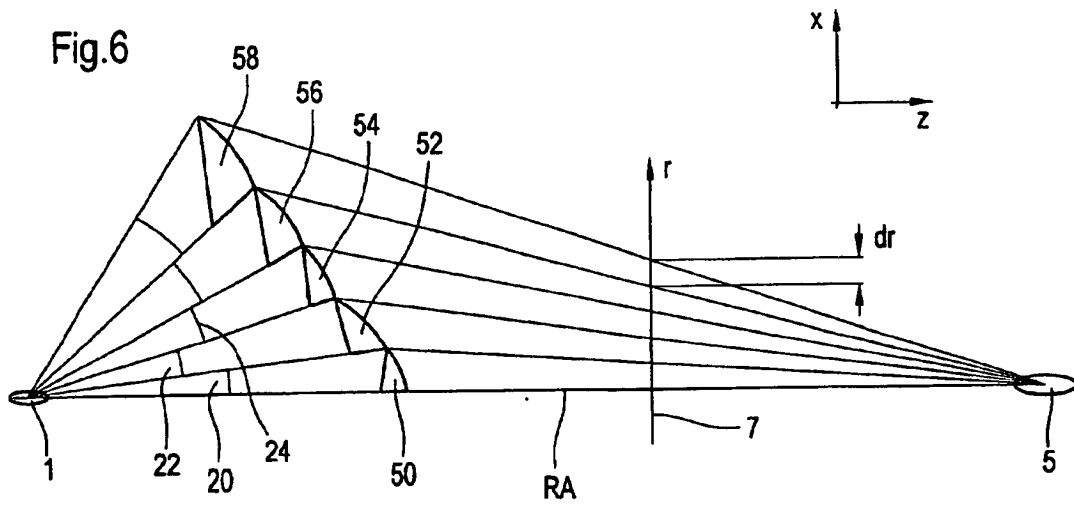


Fig.7

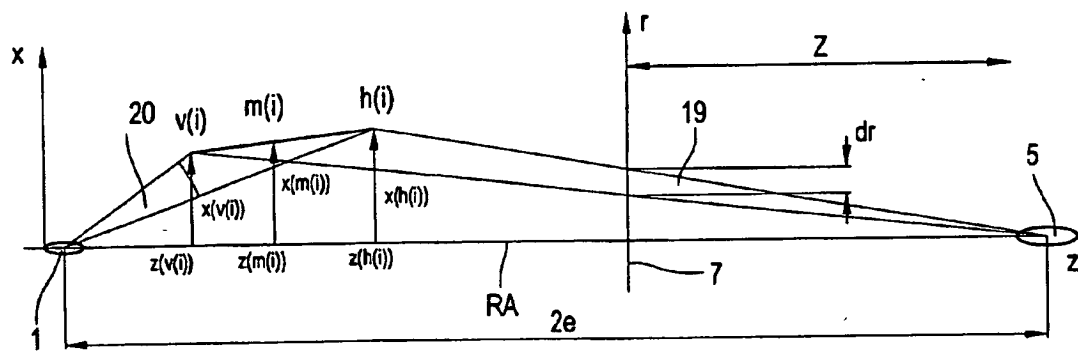


Fig.8

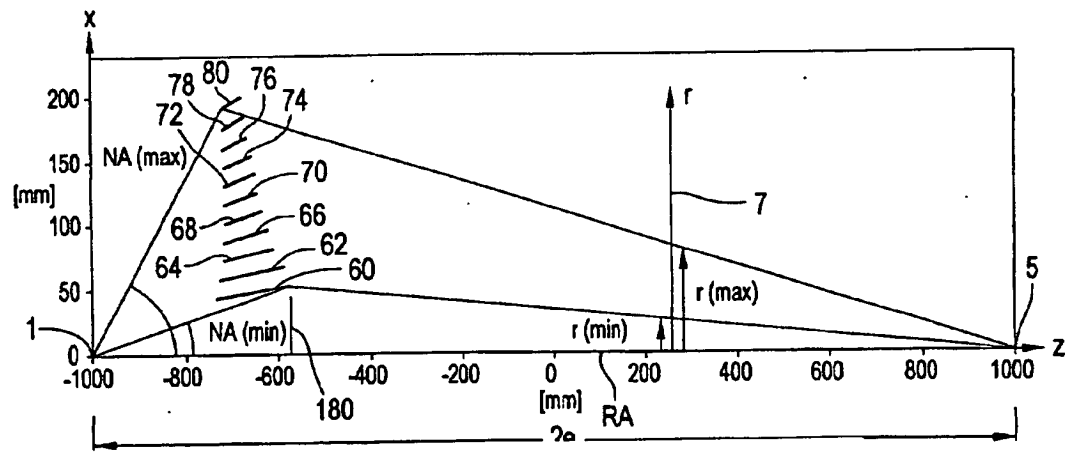


Fig.9

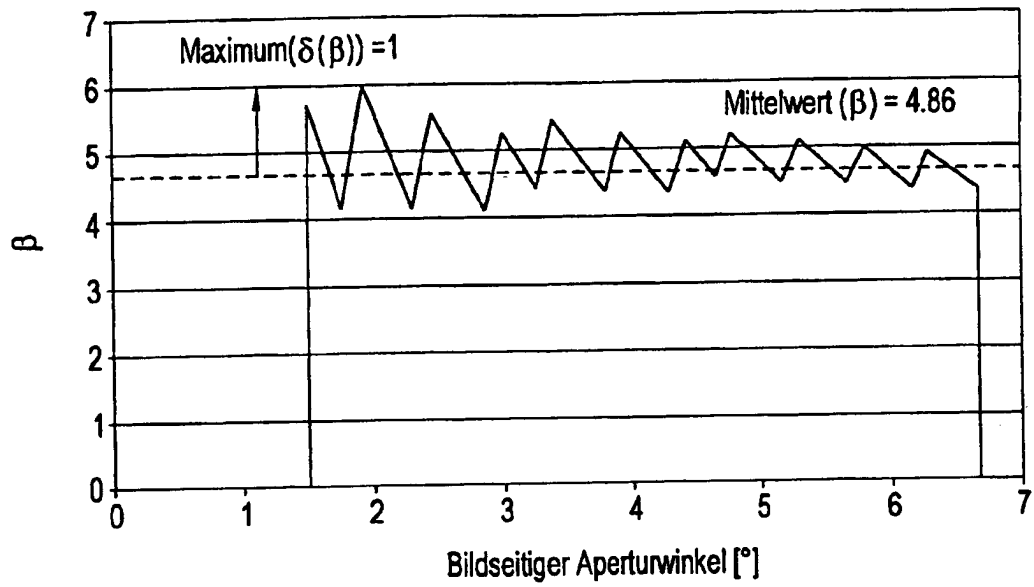
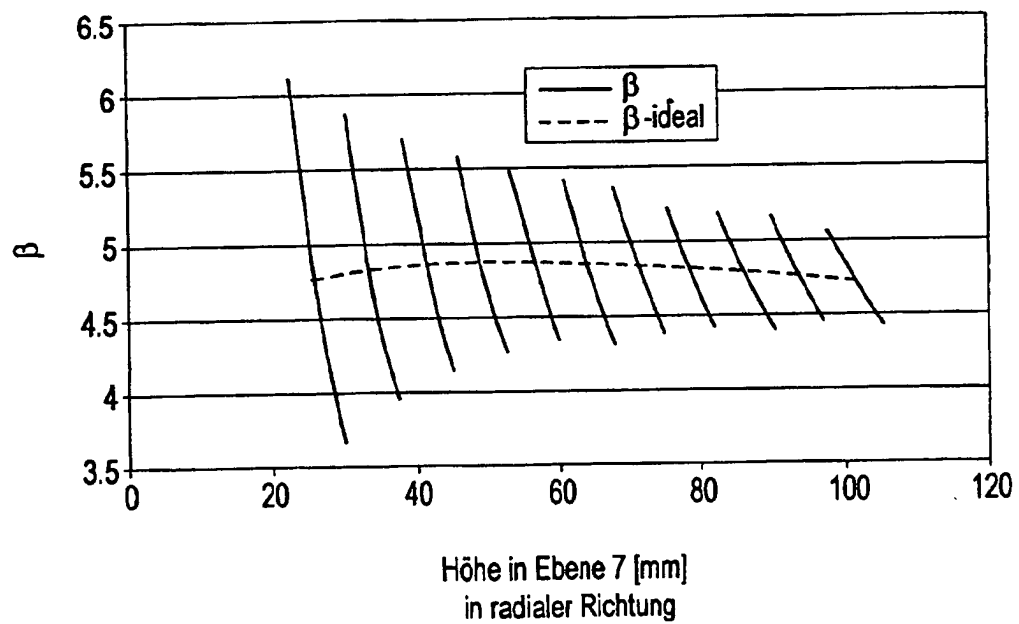


Fig.10



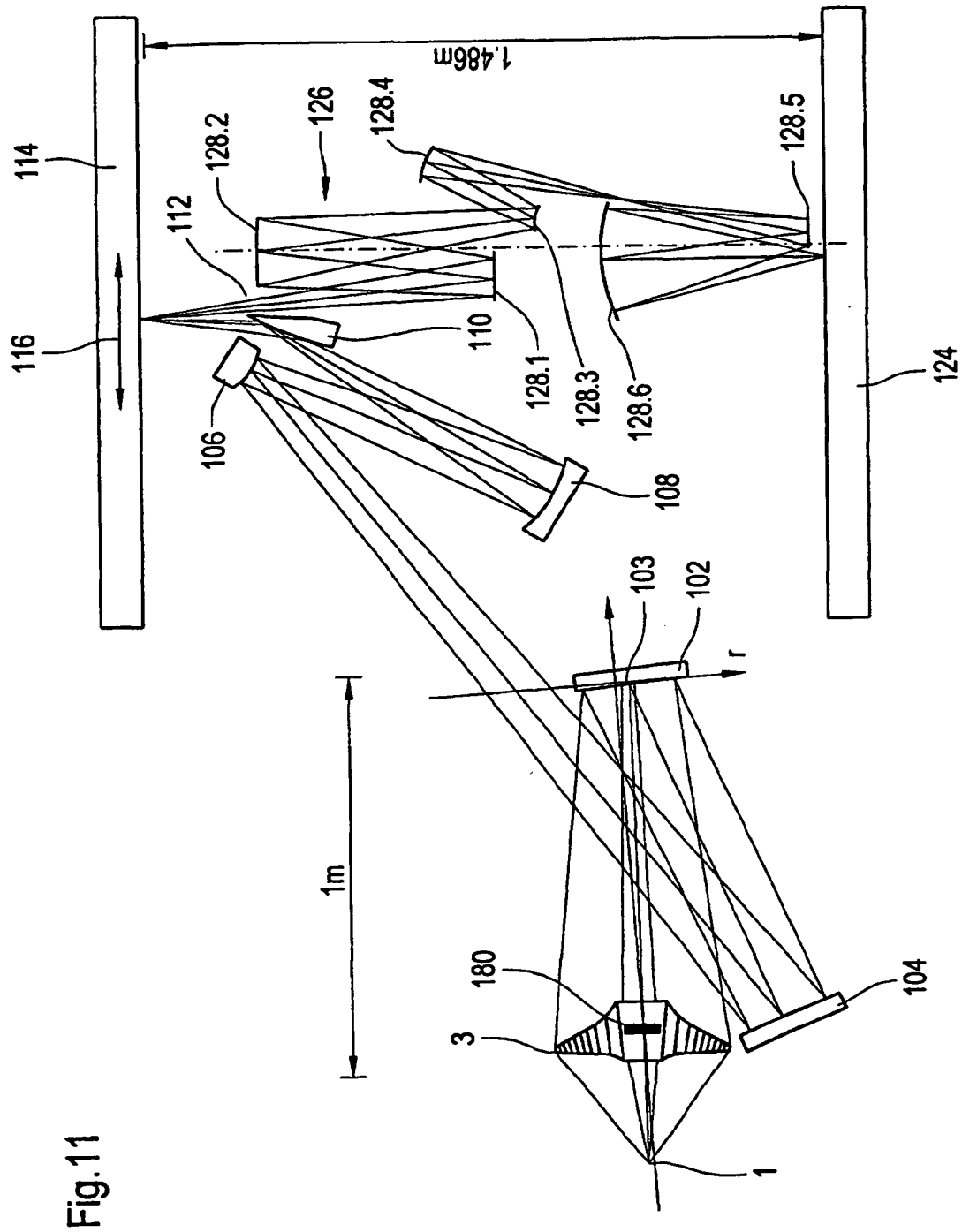
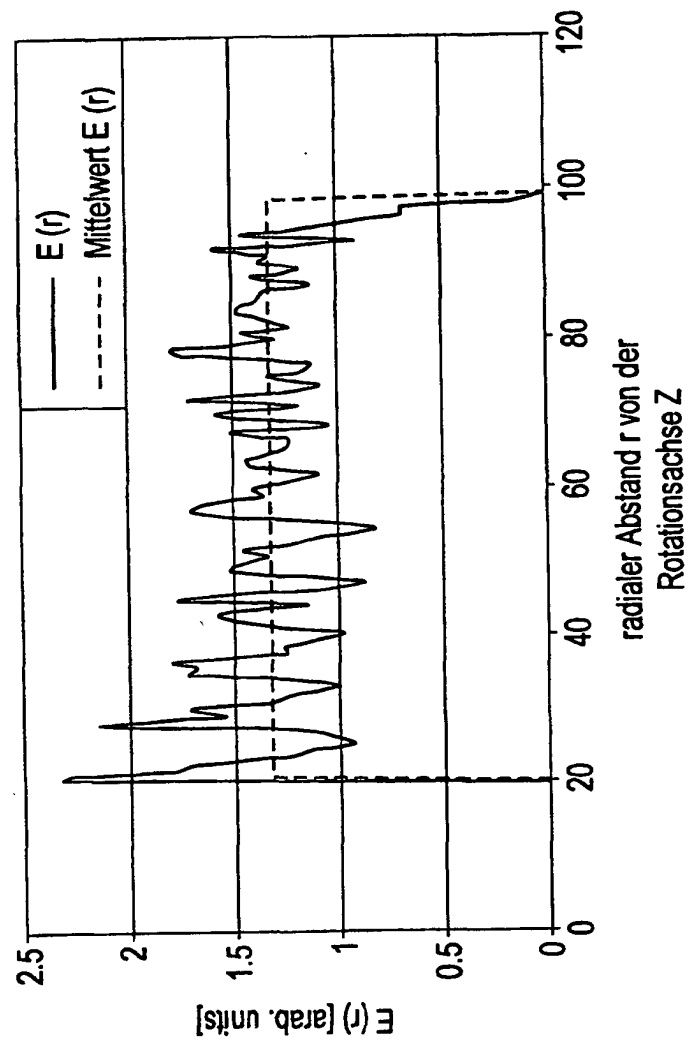


Fig.12



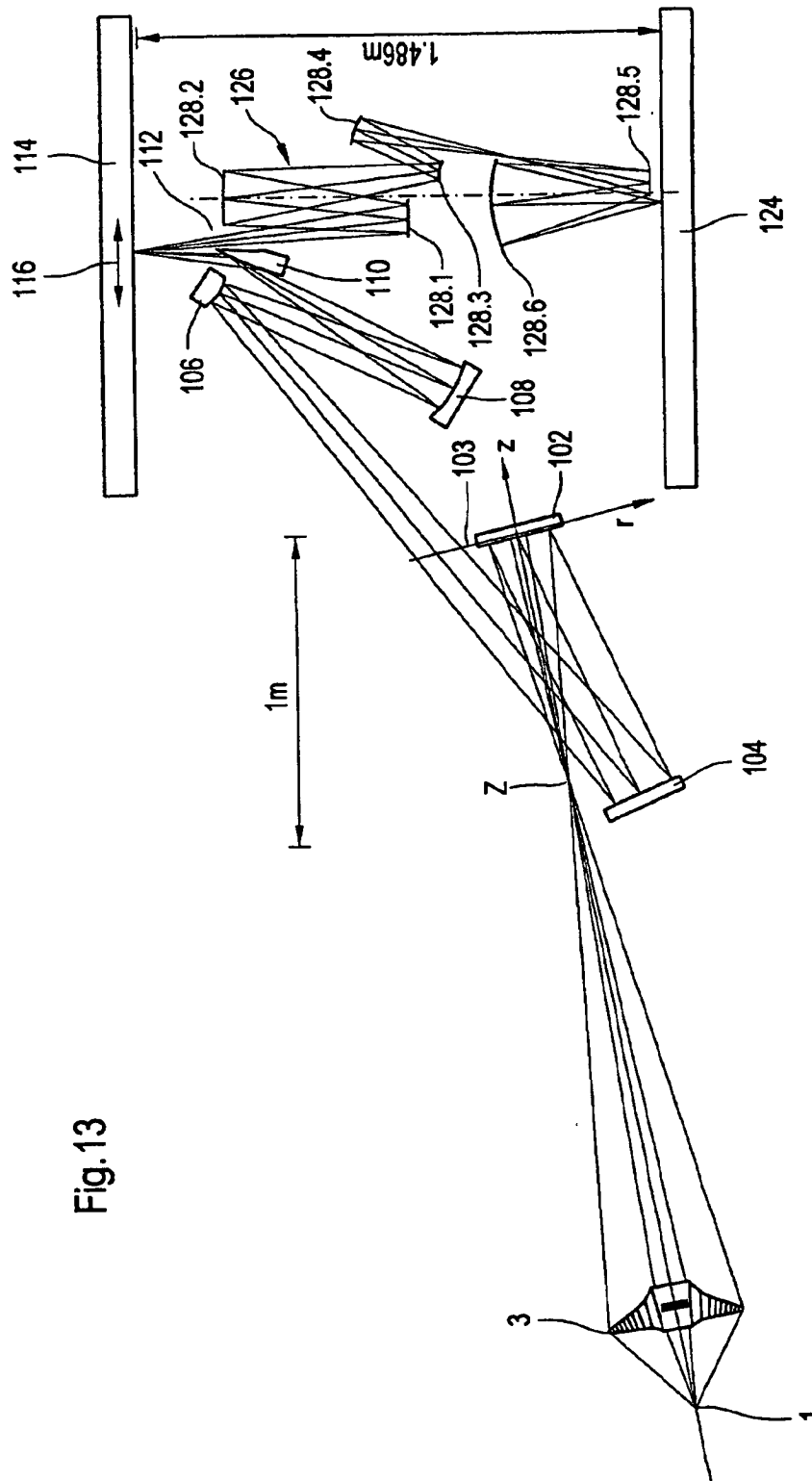


Fig. 13

Fig.14

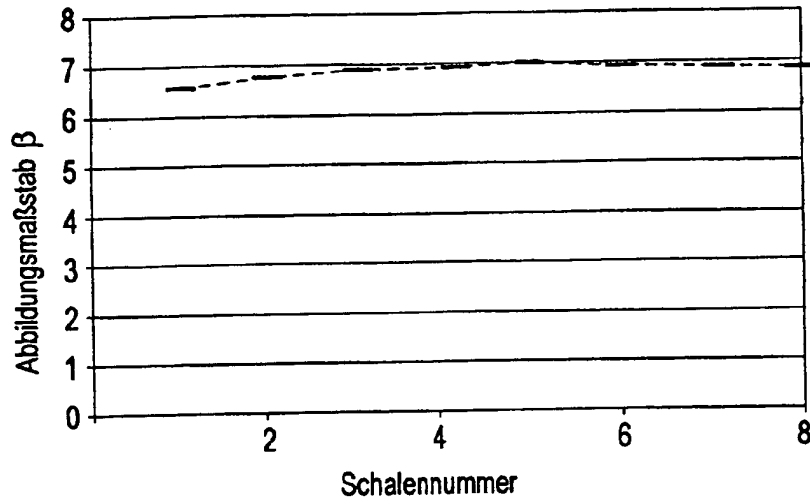


Fig.15

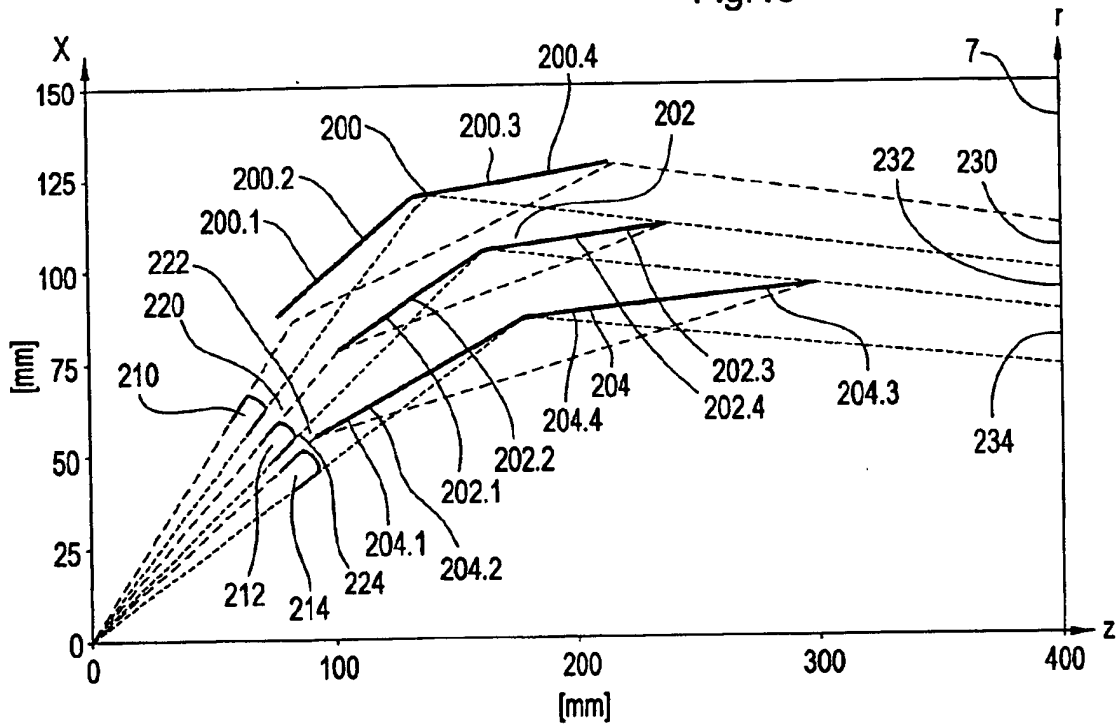


Fig.16

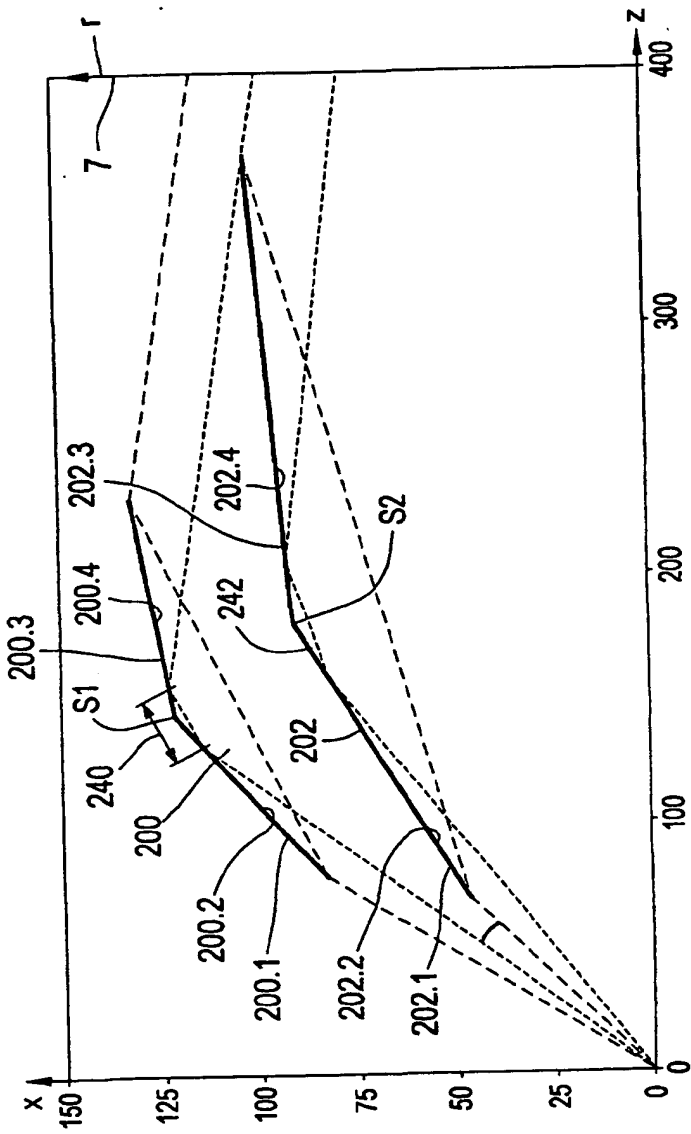


Fig.17

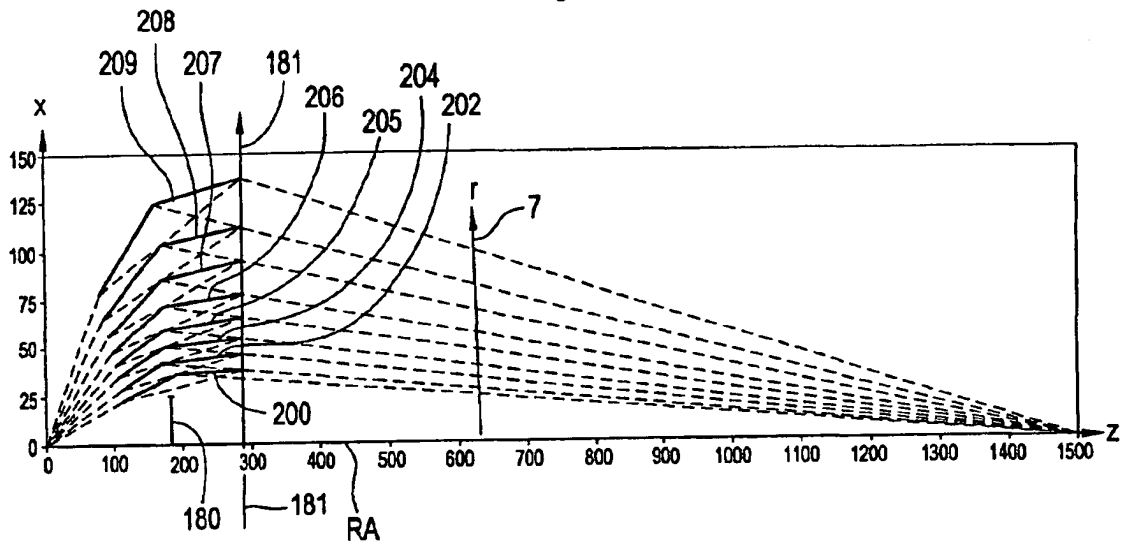


Fig.18

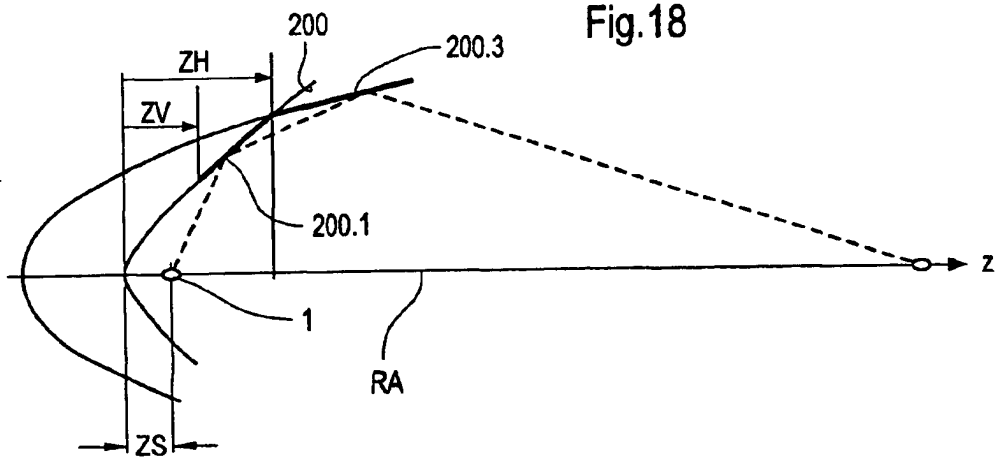
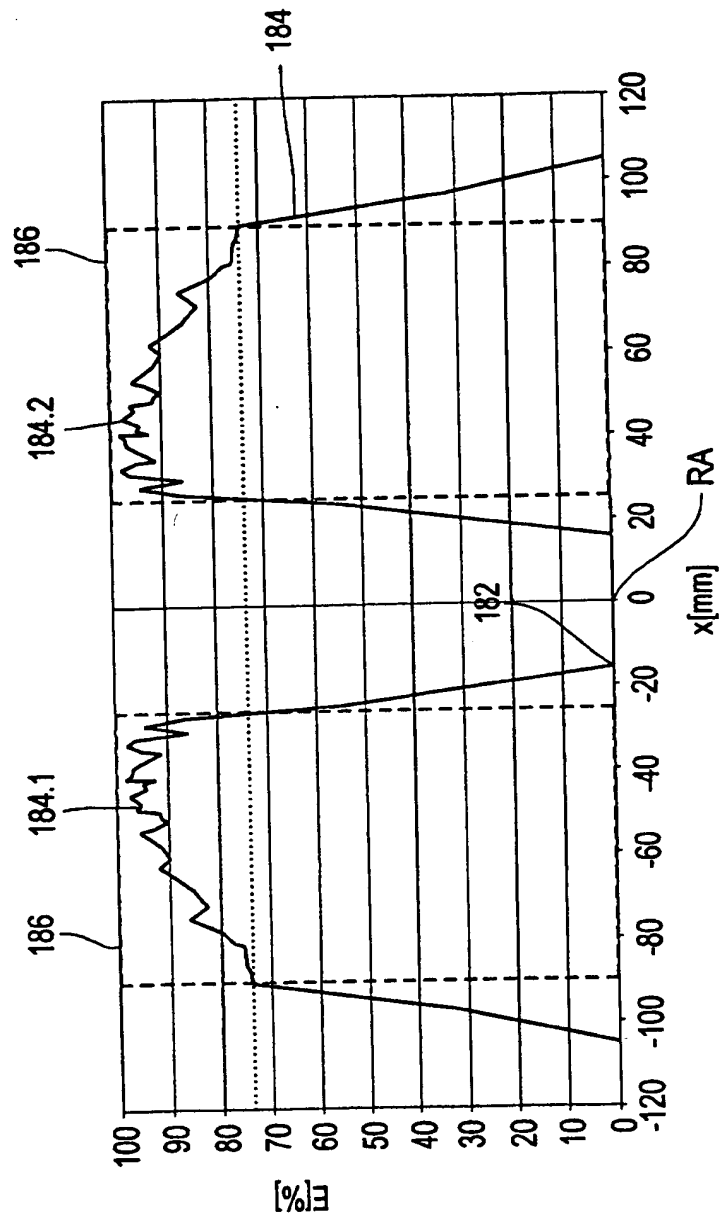


Fig. 19



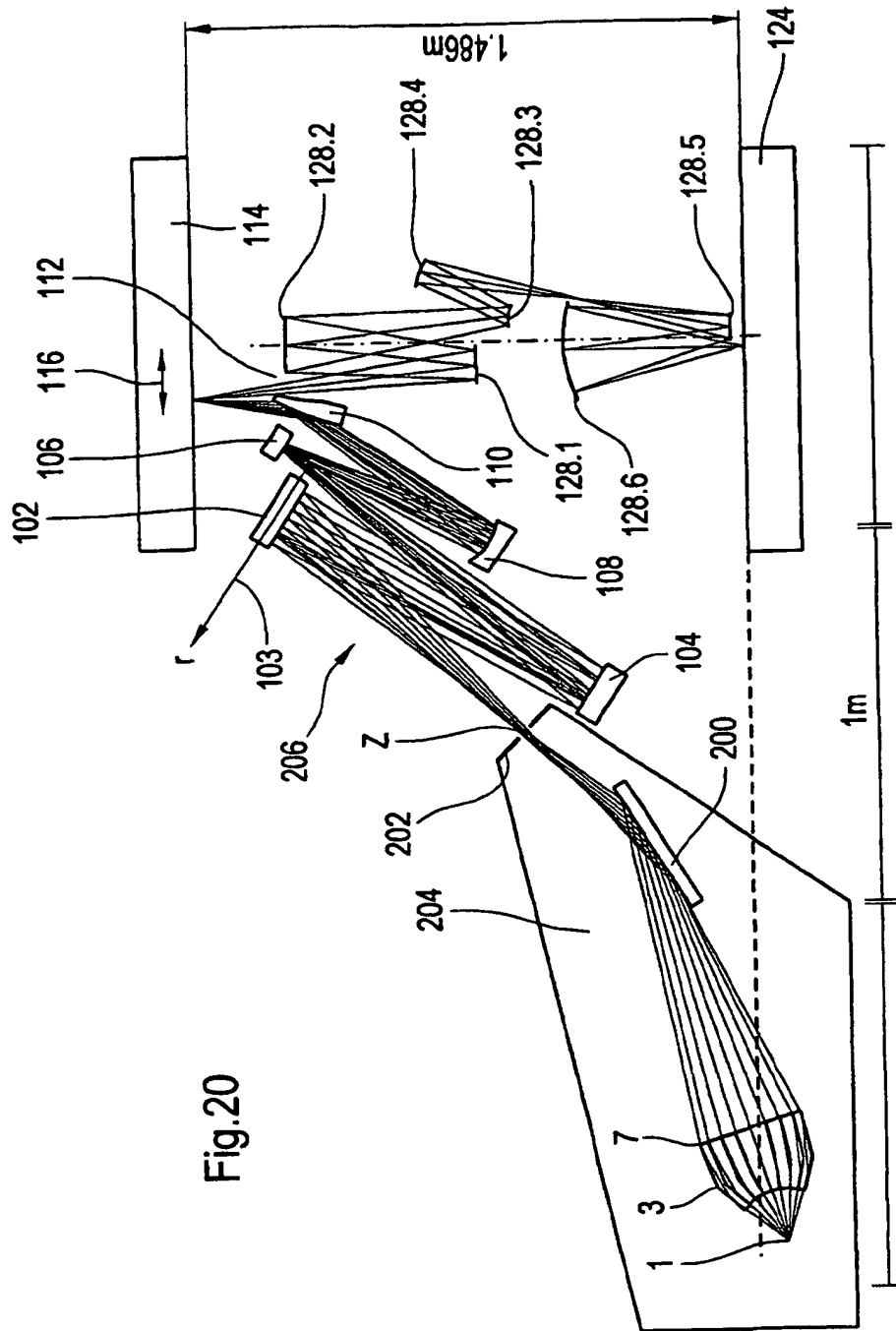


Fig. 20

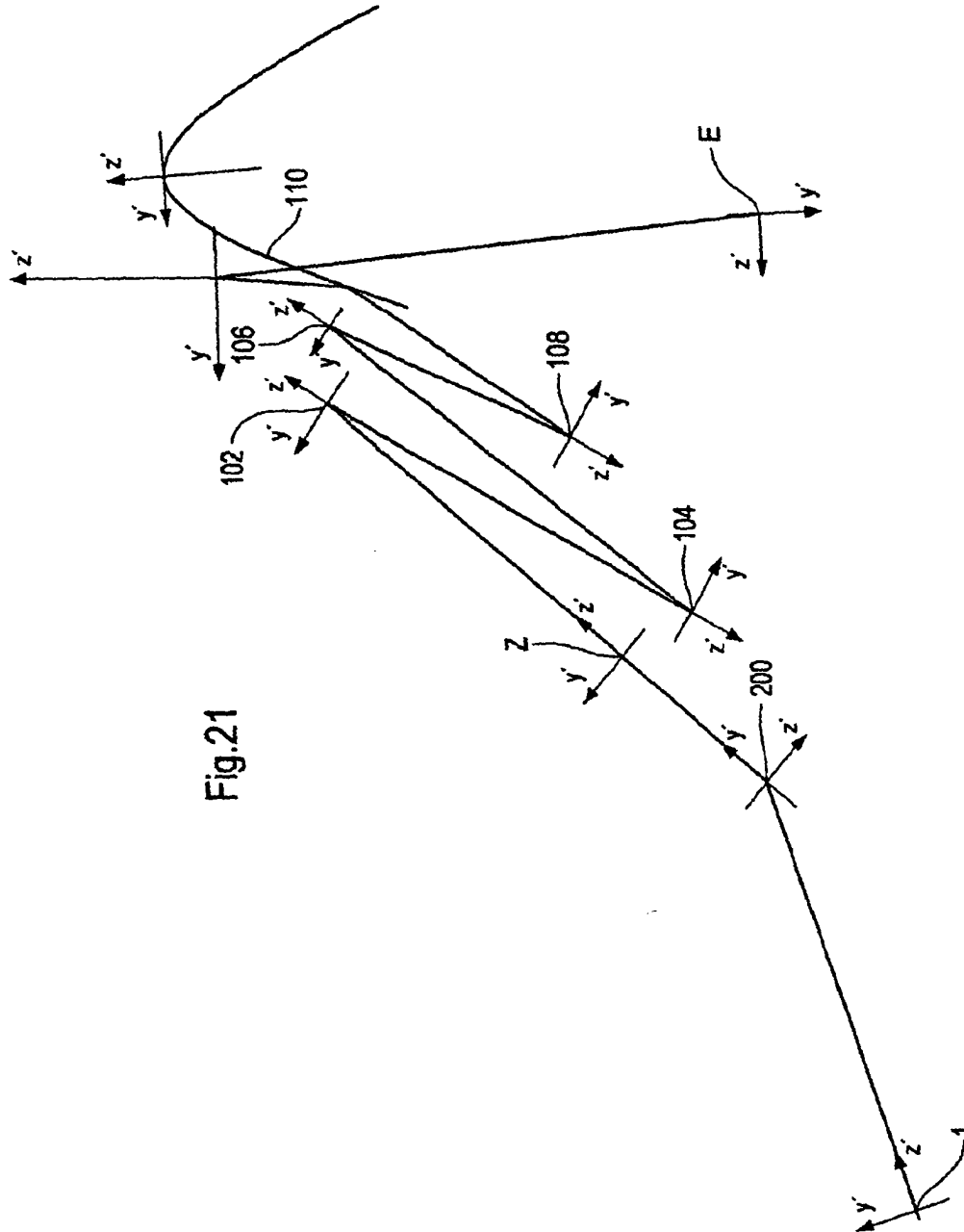


Fig. 21

Fig.22

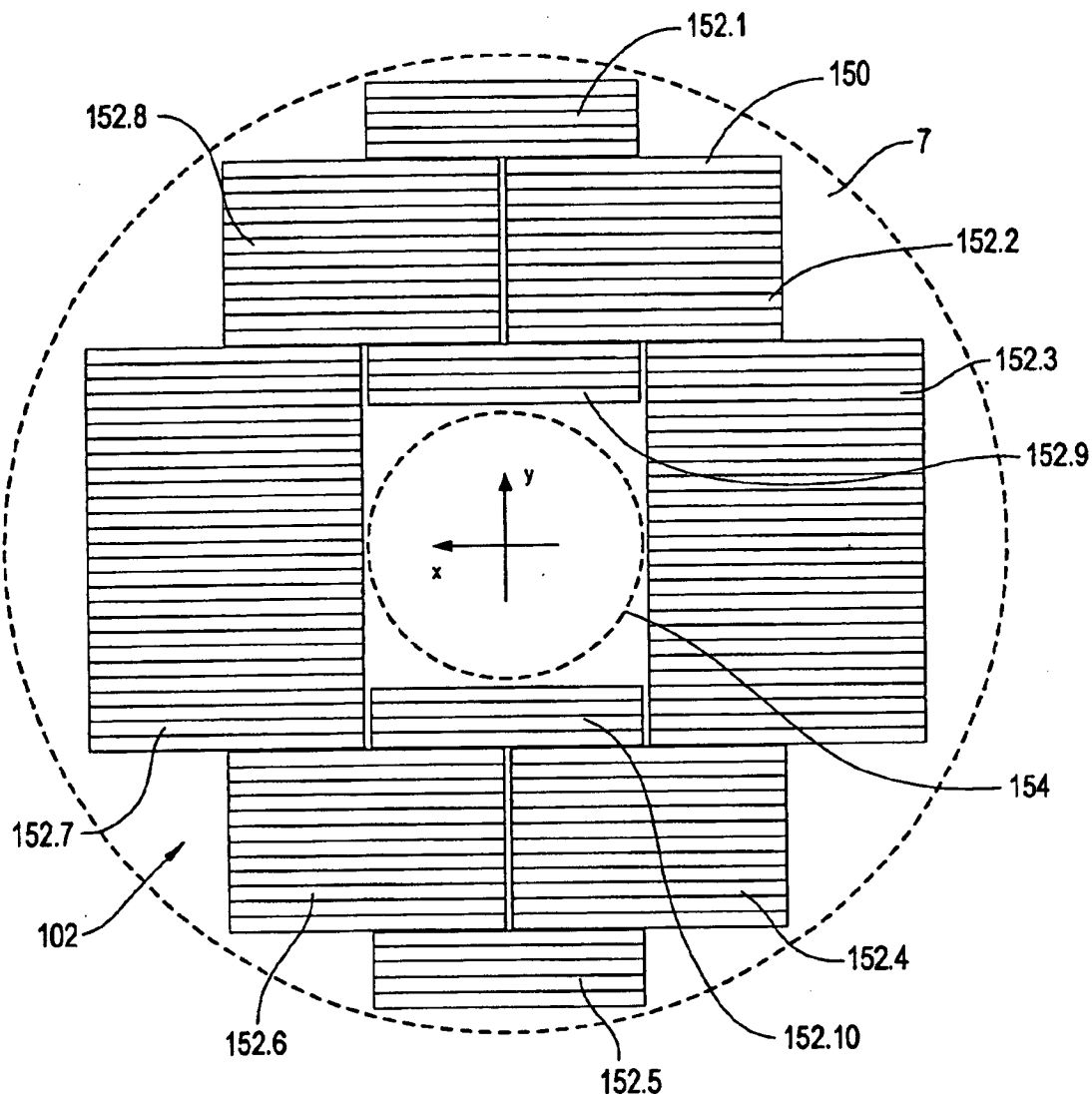


Fig.23

